

# **METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE APLICÁVEIS EM OBRA**

**LUÍS FILIPE BENTES LEAL**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

JUNHO DE 2015

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais, Irmão, Namorada e Amigos

*Devemos o progresso aos insatisfeitos*

*Aldous Huxley*



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos por toda a atenção, tempo disponibilizado e insistência para que o trabalho fosse realizado desde o primeiro dia.

Ao Eng<sup>o</sup> Pedro Pereira que me ensinou e ajudou sempre em tudo o que precisei durante a fase laboratorial.

Aos meus pais e irmão que me ajudaram em tudo o que puderam durante todos estes meses.

À minha namorada, Lara, que me ajudou em tudo. Ajudou no fabrico do material para os ensaios, correção do texto e acima de tudo ajudou a que nunca me faltassem forças e vontade de trabalhar.

Aos meus amigos, principalmente à Ana Lourenço que me acompanhou desde o início do curso me obrigou a estudar quando a vontade não existia.



## **RESUMO**

Uma das principais causas de patologias na construção é a humidade, esta pode ter origem na fase de construção e comprometer gravemente a fase de utilização.

Um acabamento só pode ser aplicado quando a superfície de suporte se encontra suficientemente seca para que a humidade não surja mais tarde e danifique o acabamento. O tempo de secagem dos materiais ainda é muitas vezes uma incógnita na construção passando-se para a próxima fase da construção de imediato. É imprescindível o conhecimento profundo das características de secagem dos vários materiais assim como o conhecimento dos equipamentos de análise da humidade para evitar problemas durante a fase de utilização. Apresentam-se neste trabalho estimativas de tempo de secagem indicadas por várias entidades e características de alguns materiais de construção.

Foram realizados ensaios de medição de humidade, para avaliar a secagem, ao betão leve, reboco e gesso utilizando vários equipamentos para desta forma perceber a diferença entre os materiais e a diversidade de tipos de medições que podem ser efetuadas aos mesmos. Foram utilizados para o ensaio dois tipos de betões leves com massas volúmicas e espessuras diferentes, e em condições de temperatura e humidade relativa distintas para avaliar a importância de cada uma das variáveis na secagem dos materiais.

Foram analisados vários tipos de equipamentos de medição de humidade, sendo os equipamentos utilizados os disponíveis no Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teor de humidade, humidade relativa, secagem de materiais, betão leve, técnicas experimentais.





## **ABSTRACT**

The moisture is one of the major causes of construction pathologies, the moisture may be sourced in construction phase and severely compromise the use phase.

A finishing layer can only be applied when the support surface is dry enough so that moisture will not arise later and damage the finish. The drying time of materials is often still an unknown information in building passing to the next stage of construction as soon as possible. It is essential to thorough knowledge of the drying characteristics of various materials as well as knowledge of moisture analysis equipment to avoid problems during the use phase. In this paper are present drying time estimates given by various entities and characteristics of some building materials.

Moisture measurement tests were conducted to evaluate drying of the lightweight concrete, plaster and gypsum using various equipment to realize the difference between the materials and the diversity of types of measurements that can be made. Two types of lightweight concretes were used for the test with different volumetric weight and thicknesses with different conditions of temperature and relative humidity to evaluate the importance of each of the variables in the drying of materials.

Various types of moisture measuring equipment were analysed. The equipment used were available in the Building Physics Laboratory of the Engineering Faculty of the University of Porto

**KEYWORDS:** Moisture content, relative humidity, drying of materials, lightweight concrete, experimental techniques.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v

## **INTRODUÇÃO** .....

<b>1.1. ENQUADRAMENTO</b> .....	1
<b>1.2. OBJETIVOS</b> .....	1
<b>1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DE TEXTO</b> .....	2

## **HUMIDADE E OS MATERIAIS** .....

<b>2.1. HUMIDADE DO AR</b> .....	3
<b>2.2. TEOR DE HUMIDADE NOS MATERIAIS POROSOS</b> .....	5
<b>2.3. SECAGEM DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO</b> .....	8

## **PROCESSO DE SECAGEM – IMPORTÂNCIA DO TEOR DE HUMIDADE** .....

<b>3.1. PROCESSOS DE AVALIAÇÃO DE TEOR DE HUMIDADE <i>IN SITU</i></b> .....	9
3.1.1. Sonda de humidade relativa de betão .....	9
3.1.2. Teste da folha de plástico (ASTM, 2012) .....	9
3.1.3. Teste de Mat Bond (KANARE, 2005) .....	9
3.1.4. Medidor de frequência rádio .....	10
3.1.5. Medidor de resistência elétrica .....	10
3.1.6. Medição da variação da constante dielétrica .....	10
3.1.7. Detecção de humidade através de infravermelhos .....	10
3.1.8. Medição de taxa de emissão de vapor utilizando carboneto de cálcio (ASTM F 1869-04) ...	11
3.1.9. Método de medição gravimétrico .....	11
<b>3.2. VALORES DE REFERÊNCIA DO TEOR DE HUMIDADE</b> .....	11
3.2.1. Curvas higroscópicas (relação humidade relativa/teor de humidade) .....	11
3.2.1.1. Betão .....	11
3.2.1.2. Betão leve .....	13
3.2.1.3. Reboco de cimento .....	14
3.2.1.4. Gesso .....	14
3.2.2. VALORES RECOMENDADOS DO TEOR DE HUMIDADE .....	15

3.2.2.1. Betão e betão leve .....	15
3.2.3. REBOCO DE CIMENTO.....	18
<b>3.3. DURAÇÃO DO PERÍODO DE SECAGEM.....</b>	<b>18</b>
3.3.1. BETÃO.....	18
3.3.2. BETÃO LEVE .....	21
<b>3.4. SÍNTESE.....</b>	<b>23</b>
<b>ENSAIOS LABORATORIAIS.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. PLANO DE ENSAIO .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2. MATERIAIS.....</b>	<b>25</b>
4.2.1. BETÃO LEVE COM MASSA VOLÚMICA DE 550 KG/M <sup>3</sup> .....	25
4.2.2. BETÃO LEVE COM MASSA VOLÚMICA DE 1100 KG/M <sup>3</sup> .....	26
4.2.3. REBOCO.....	27
4.2.4. GESSO.....	27
4.2.5. SÍNTESE DE PROVETES.....	28
<b>4.3. EQUIPAMENTO .....</b>	<b>28</b>
4.3.1. APARELHOS DE MEDIÇÃO .....	28
4.3.1.1. Protimeter MMS2 .....	28
4.3.1.2. HUMIDÍMETRO CEBTP MX-HU.....	29
4.3.1.3. Tramex Leak Seeker .....	30
4.3.1.4. Data logger Mikromec multisens .....	31
4.3.2. CÂMARA CLIMÁTICA.....	32
4.3.3. ESTUFA DE SECAGEM.....	34
4.3.4. EQUIPAMENTO AUXILIAR.....	34
<b>4.4. PROCEDIMENTO .....</b>	<b>36</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
<b>5.1. ENQUADRAMENTO .....</b>	<b>41</b>
<b>5.2. MASSA VOLÚMICA .....</b>	<b>41</b>
<b>5.3. AVALIAÇÃO POR PESAGEM GLOBAL .....</b>	<b>42</b>
<b>5.4. AVALIAÇÃO POR PESAGEM DE AMOSTRAS .....</b>	<b>43</b>
<b>5.5. AVALIAÇÃO COM DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO DE HUMIDADE .....</b>	<b>46</b>
<b>5.6. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS GRAVIMÉTRICOS VS MEDIÇÃO COM HUMIDÍMETROS.....</b>	<b>48</b>
<b>5.7. ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>

<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>53</b>
-------------------------	-----------

<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>57</b>
---	-----------

## **Anexos**



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Diagrama psicométrico – NIT002.....	4
Fig. 2 – Níveis de teor de humidade de um material – imagem adaptada de Ramos, 2000 .....	6
Fig. 3 – Etapas de fixação de vapor de água por adsorção – imagem adaptada de Ramos, 2000 ....	6
Fig. 4 – Curva de adsorção higroscópica.....	7
Fig. 5 – Curvas de adsorção e desadsorção higroscópica – imagem adaptada de Ramos, 2000 .....	7
Fig. 6 – Evolução do fluxo de secagem em função do tempo – imagem adaptada de (Castro, 1998)..	8
Fig. 7 – Curvas de adsorção do betão com A/C=0,4, A/C=0,65 e A/C=0,72 com imagem adaptada de Hedenblad, 1987; Kielsgaard-Hansen, 1986 .....	12
Fig. 8 – Curva de adsorção do betão leve com massa volúmica de 640 kg/m <sup>3</sup> , 670 kg/m <sup>3</sup> , e 1200 kg/m <sup>3</sup> imagem adaptada de (Hedenblad, 1987) e com massa volúmica de 480 kg/m <sup>3</sup> , imagem adaptada de (Tada, 2006).....	13
Fig. 9 - Curva de adsorção do reboco de cimento com relação água/cimento=0,7 e 0,8, imagem adaptada de (Hedenblad, 1987).....	14
Fig. 10 - Curva de adsorção do gesso, imagem adaptada de (Hedenblad, 1987).....	15
Fig. 11 – Evolução de teor de humidade em profundidade, adaptado de (Cunnigham, 2008).....	18
Fig. 12 – Tempo de secagem de betão no interior da secção (Kanare, 2005).....	19
Fig. 13 – Tempo de secagem de um betão normal e um betão leve (Harrison et al., 2006) .....	21
Fig. 14 – Quantidades de material necessário para o fabrico dos betões leves Weber.....	26
Fig. 15 – Aspeto final do betão leve.....	26
Fig. 16 – Aspeto do reboco .....	27
Fig. 17 – Aspeto do gesso.....	27
Fig. 18 - Protimeter MMS2 .....	29
Fig. 19 – CEBTP MX-HU.....	30
Fig. 20 – Curvas de calibração para betão, reboco e gesso do equipamento CEBTB .....	30
Fig. 21 - <i>Tramex Leak Seeker</i> .....	31
Fig. 22 – <i>Data logger Mikromec multisens</i> .....	32
Fig. 23 – Sonda aplicada no provete .....	32
Fig. 24 – Exterior de câmara climática .....	33
Fig. 25 – Interior de câmara climática .....	33
Fig. 26 – Estufa de secagem.....	34
Fig. 27 – Balança sartorius.....	35
Fig. 28 – Balança Precisa 40000 G.....	35
Fig. 29 – Rebarbadora .....	35
Fig. 30 - Caroteadora .....	35

Fig. 31 – Representação 3d das caixas de massa volúmica 1100 kg/m <sup>3</sup> .....	36
Fig. 32 – Representação 3d das caixas de massa volúmica 550 kg/m <sup>3</sup> .....	37
Fig. 33 – Representação 3d das caixas de massa volúmica 550 kg/m <sup>3</sup> na câmara climática .....	37
Fig. 34 – Representação 3d das caixas com reboco e caixas com gesso .....	38
Fig. 35 – Pesagem da caixa e material .....	39
Fig. 36 – Amostra a ser pesada na balança antes de ser colocada na estufa .....	40
Fig. 37 – Variação da temperatura e humidade relativa .....	40
Fig. 38 – Evolução da massa dos provetes .....	42
Fig. 39 – Percentagem de massa perdida ao longo do tempo .....	42
Fig. 40 – Teor de humidade de amostra 1100-10 por camada de 5cm.....	43
Fig. 41 – Teor de humidade de amostra 550-10 por camada de 5cm .....	43
Fig. 42 - Teor de humidade de amostra 1100-20 por camada de 5cm.....	44
Fig. 43 - Teor de humidade de amostra 550-20 por camada de 5cm.....	44
Fig. 44 – Teor de humidade de amostra de reboco .....	45
Fig. 45 – Comparação de teor de humidade médio de todas as amostras .....	45
Fig. 46 – Medição do teor de humidade relativo com o equipamento Protimeter .....	46
Fig. 47 – Medição do teor de humidade relativo com o equipamento CEBTP .....	46
Fig. 48 – Medição humidade com o equipamento Tramex com sensibilidade 5 .....	47
Fig. 49 – Medição humidade com o equipamento Tramex com sensibilidade 7 .....	47
Fig. 50 – Medição humidade relativa através de sonda .....	48
Fig. 51 – Comparação de resultados do betão leve 550-10 .....	48
Fig. 52 – Comparação de resultados do betão leve 1100-10 .....	49
Fig. 53 – Comparação de resultados do betão leve 550-20 .....	49
Fig. 54 – Comparação de resultados do betão leve 1100-20 .....	50
Fig. 55 – Comparação de resultados do betão leve 550-10-Ca .....	50
Fig. 56 – Comparação de resultados do betão leve 550-20-Ca .....	50
Fig. 57 – Comparação de resultados do Reboco.....	51



**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 – Resumo de teores de humidade de diferentes betões .....	12
Tabela 2 - Resumo de teores de humidade para diferentes betões leves .....	13
Tabela 3 - Resumo de teores de humidade para diferentes rebocos de cimento .....	14
Tabela 4 – Resumo de teores de humidade para gesso .....	15
Tabela 5 – Valor máximo de humidade relativa no betão segundo <i>The Finnish SisaRYL 2000 Code of Building Practice</i> .....	16
Tabela 6 - Valor máximo de humidade relativa no betão segundo <i>Swedish HusAMA83</i> .....	17
Tabela 7 - Tempo de secagem padrão .....	20
Tabela 8 – Fatores de correção devido a espessura .....	20
Tabela 9 – Fatores de correção devido a lados expostos ao ar .....	20
Tabela 10 - Fatores de correção devido a temperatura e humidade.....	21
Tabela 11 – Fatores de correção devido a condições de cura .....	21
Tabela 12 – Teores de humidade verificados para diferentes massas volúmicas (Castro, 1998) .....	22
Tabela 13 – Resumo de métodos de avaliação de humidade .....	23
Tabela 14 – Tempo de secagem dos materiais .....	24
Tabela 15 - Quadro resumo dos provetes .....	28
Tabela 16 – Significado de valor relativo .....	29
Tabela 17 – Resumo de ensaios para cada material.....	39
Tabela 18 – Medição de massa volúmica das amostras de betão leve .....	41



## **SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS**

$m_h$  - Massa da amostra húmida (kg)

$m_s$  - Massa da amostra seca (kg)

$V$  - Volume ( $m^3$ )

$\rho_0$  - Densidade da amostra seca ( $kg/m^3$ )

$\rho_w$  - Densidade da água ( $kg/m^3$ )

$v$  - Humidade absoluta do ar em volume ( $kg/m^3$ )

$x$  - Humidade absoluta do ar em massa ( $kg/kg$ )

$\phi$  - Humidade relativa do ar (%)

$w$  - Teor de humidade em massa por unidade de volume ( $kg/m^3$ )

$u$  - Teor de humidade mássico ( $kg/kg$  ou %)

$\psi$  - Teor de humidade volúmico ( $m^3/m^3$ )

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

DEC - Departamento de Engenharia Civil

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

ISO - International Organization for Standardization

Fig - Figura



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

Cada vez mais, tempo é dinheiro e as empresas de construção têm vindo a ser obrigadas a reduzir o tempo de construção para assim baixarem o custo das empreitadas e se manterem competitivas.

Quando um prazo necessita de ser reduzido um problema que pode surgir é o material de suporte do acabamento não secar quando esse material não seca a água contida nos poros irá ser libertada lentamente e poderá depois criar patologias quando a obra estiver já em fase de utilização. É, por isso, muito importante perceber quando é que um material está seco, o que nos leva a perguntas importantes: “Quanto tempo demora um material a secar?”, “Como posso saber se um material está seco?”, “Os materiais secam todos no mesmo prazo?”, todas estas são questões às quais é necessário saber a resposta para que uma obra não desenvolva patologias.

Para que seja possível transitar de uma fase para outra fase de uma obra é então imprescindível realizar a medição do teor de humidade, ou conhecer profundamente as características do material de forma a saber com alguma precisão que o material quando sujeito aquelas condições estará seco para a aplicação da próxima camada. Poderá ser uma pintura, a aplicação de tijoleira ou outro tipo de revestimento que estará à vista e que se degradará quando aplicado sobre uma superfície húmida.

### 1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é compreender efetivamente quando é que um material está suficiente seco para a aplicação do revestimento, quanto tempo é necessário para que este atinja esse equilíbrio e como varia esse tempo de acordo com as condições a que ele está sujeito. Para atingir este objetivo pretende-se realizar uma campanha de ensaios, utilizando os equipamentos do Laboratório de Física das Construções (LFC-FEUP) onde será avaliada a evolução do teor de humidade de dois betões leves com massa volúmica diferente, reboco e gesso, variando ambiências e espessuras. Será assim possível avaliar os procedimentos de ensaio e as características dos materiais.

Outro objetivo é definir de uma forma sucinta o que é a humidade e de que forma pode ser avaliada, reunindo informação sobre o teor de humidade nos diferentes materiais.

### 1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DE TEXTO

A estrutura da dissertação está dividida em seis partes:

No presente capítulo é feito o enquadramento do tema desenvolvido, são apresentados os objetivos e a estrutura da dissertação.

No capítulo 2 é apresentada a definição e forma de cálculo do teor de humidade. É apresentada também uma explicação do método de fixação da humidade nos materiais porosos e de que forma se dá a secagem destes mesmos materiais.

No capítulo 3 são referidos os processos de avaliação do teor de humidade *In Situ* apresentados os equipamentos mais comuns para a avaliação do teor de humidade em obra. São também citados valores de referência do teor de humidade através de curvas higroscópicas que relacionam a humidade relativa do ambiente com o teor de humidade de vários materiais. São referidos valores recomendados do teor de humidade para os materiais possam ser considerados suficientemente secos para a aplicação do material seguinte. Por fim são apresentadas estimativas de duração do período de secagem dos vários materiais de acordo com as suas características e com as características do ambiente que os rodeia.

No capítulo 4 são apresentados os ensaios laboratoriais que foram realizados no Laboratório de Física de Construções, explicando o funcionamento de todos os equipamentos utilizados e a metodologia de todos os ensaios.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios através de tabelas e gráficos, comparando os resultados obtidos com os diferentes métodos. Com a análise dos resultados conclui-se qual o melhor método para utilizar como apoio ao faseamento de uma obra.

No Capítulo 6 sintetizam-se os resultados dos estudos realizados, apresentam-se as conclusões finais da dissertação e as perspetivas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

## 2

## HUMIDADE E OS MATERIAIS

## 2.1. HUMIDADE DO AR

Humidade do ar é uma mistura entre o ar seco e uma quantidade de vapor de água, e define-se a humidade do ar a partir da quantidade de vapor que esta contém. A quantidade de vapor pode ser medida em massa ou em volume. Segundo o NIT 002 (Freitas e Pinto, 2000) é possível caracterizar a humidade do ar em vários parâmetros. A terminologia dos parâmetros utilizada foi a indicada na publicação *Heat, air and moisture transfer terminology-parameters and concepts* (Radu et al., 2012).

A humidade absoluta do ar em volume é a relação entre a massa de água ( $m_v$ ) e o volume de ar húmido ( $V$ ), expressa-se em  $\text{kg/m}^3$ , como apresentado na equação (1).

$$v = \frac{m_v}{V} \quad (1)$$

A humidade absoluta do ar em massa é a relação entre a massa de água ( $m_v$ ) e a massa de ar seco ( $m_a$ ), expressa-se em  $\text{kg/kg}$ , como apresentado na equação (2).

$$x = \frac{m_v}{m_a} \quad (2)$$

A relação entre estas duas grandezas, expressa-se em  $\text{kg/m}^3$ , é a apresentada na equação (3) onde são relacionados os valores da pressão atmosférica ( $P_t$ ), pressão parcial do vapor de água ( $P$ ) e a temperatura ( $T$ ).

$$v = x * \frac{P_t - P}{287,1 * T} \quad (3)$$

A humidade relativa do ar é a relação entre a massa de vapor que existe no ar e a quantidade máxima de vapor que esta consegue suportar a uma determinada temperatura. Para calcular este valor é dividida a massa de vapor de água pela massa de vapor de água máxima (saturada) ( $m_{vs}$ ), expressa-se em %, como apresentada na equação (4).

$$\varphi = \frac{m_v}{m_{vs}} * 100 \quad (4)$$

Se for considerado que o ar é um gás perfeito este valor pode ser também obtido através da relação entre pressão parcial de vapor de água ( $P_v$ ) e pressão de saturação ( $P_s$ ). Como apresentado na equação (5).

$$\varphi = \frac{P_v}{P_s} * 100 \quad (5)$$

A relação entre a densidade, humidade e temperatura pode ser representada através de um diagrama psicrométrico que permite estudar a alteração de energia envolvida na mudança das características físicas do ar húmido.

A Fig. 1 representa um exemplo de um diagrama psicrométrico para a pressão atmosférica de referência, se a pressão atmosférica for diferente devem ser efetuadas as correções necessárias.

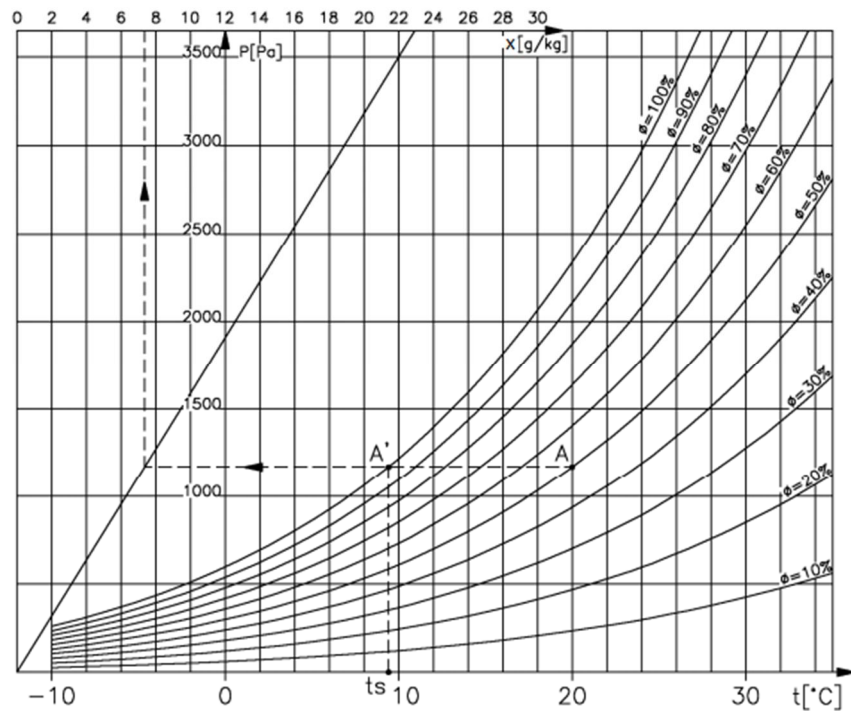


Fig. 1 – Diagrama psicrométrico – NIT002



## 2.2. TEOR DE HUMIDADE NOS MATERIAIS POROSOS

O teor de humidade nos materiais pode definir-se de três formas (Freitas e Pinto, 2000; ISO, 2007; Lanzinha, 1998; Radu et al., 2012):

- O quociente entre a massa de água do material ( $m_e$ ) e o volume aparente do material seco ( $V_s$ ), expressa-se em  $\text{kg/m}^3$ , designa-se pelo símbolo  $w$  e denomina-se teor de humidade em massa por unidade de volume;
- O quociente entre a massa de água do material e a massa do material seco ( $m_s$ ), expressa-se em  $\text{kg/kg}$  ou em %, designa-se pelo símbolo  $u$  e denomina-se teor de humidade mássico;
- O quociente entre o volume de água ( $v_e$ ) e o volume do material seco ( $V_s$ ), expressa-se em  $\text{m}^3/\text{m}^3$ , designa-se pelo símbolo  $\psi$  e denomina-se teor de humidade volúmico.

A forma de calcular o teor de humidade em massa por unidade de volume é apresentada através da expressão (6).

$$w = \frac{m_e}{V_s} \quad (6)$$

A forma de calcular o teor de humidade mássico é apresentada através da expressão (7).

$$u = \frac{m_e}{m_s} \quad (7)$$

A forma de calcular o teor de humidade volúmico é apresentada através da expressão (8).

$$\psi = \frac{V_e}{V_s} \quad (8)$$

Os materiais porosos podem fixar a humidade através da adsorção do vapor de água contido no ar, por capilaridade, por contacto com água líquida, com a fase sólida, assim como por condensação do vapor de água no interior dos materiais quando estes atingem o ponto de saturação (Ramos, 2000).

Um material poroso é constituído por três partes (Ramos, 2000):

- Sólida - correspondente ao material seco;
- Líquida - correspondente à água contida nos poros do material;
- Gasosos - correspondente ao ar contido nos poros que não estão preenchidos pela água.

O grau de saturação de um material é o quociente entre o teor de humidade que o material apresenta e o teor de humidade máximo que o material consegue atingir, é também o quociente entre os poros preenchidos por água e os poros que podem ser cheios com água e por isso o seu valor varia entre 0 e 1 (Carvalho, 2010).

O teor de humidade teórico de um material completamente seco é 0, valor este nunca atingido de forma natural. O valor mais próximo é produzido artificialmente por secagem do material na estufa,

$W_h$ . O teor de humidade só atinge o valor de  $W_{max}$  de forma artificial sobre pressão, podendo de forma natural apenas atingir  $W_{sat}$ , como representando na Fig. 2.



Fig. 2 – Níveis de teor de humidade de um material – imagem adaptada de Ramos, 2000

Como se pode observar na Fig. 2, o teor de humidade varia entre 0 e  $W_{max}$  mas de uma forma natural apenas varia entre  $W_h$  e  $W_{sat}$ . Um material varia o seu teor de humidade entre  $W_{cr}$  e  $W_{sat}$  quando é exposto por um longo período de tempo a um ambiente saturado intitulando-se de domínio higroscópico. Quando um material é colocado em contacto com água líquida absorve o máximo da sua capacidade, de forma natural, de água ( $W_{sat}$ ). A totalidade dos poros só é possível de ocupar totalmente com água utilizando pressão (Freitas, 2008).

Os materiais porosos têm a capacidade de adsorção do vapor de água do ambiente se existir uma variação da humidade relativa do ar. As forças intermoleculares atuam na ligação entre os líquidos e o esqueleto do material dentro dos poros (Freitas, 1992).

A fixação de vapor de água por adsorção é realizada em três fases principais: adsorção monomolecular que consiste na fixação de uma fina camada de moléculas de água sobre a superfície dos poros, adsorção plurimolecular, que consiste na acumulação de várias camadas monomoleculares e por fim dá-se a união das camadas plurimoleculares no ponto mais estreito do poro como descrito na Fig. 3.

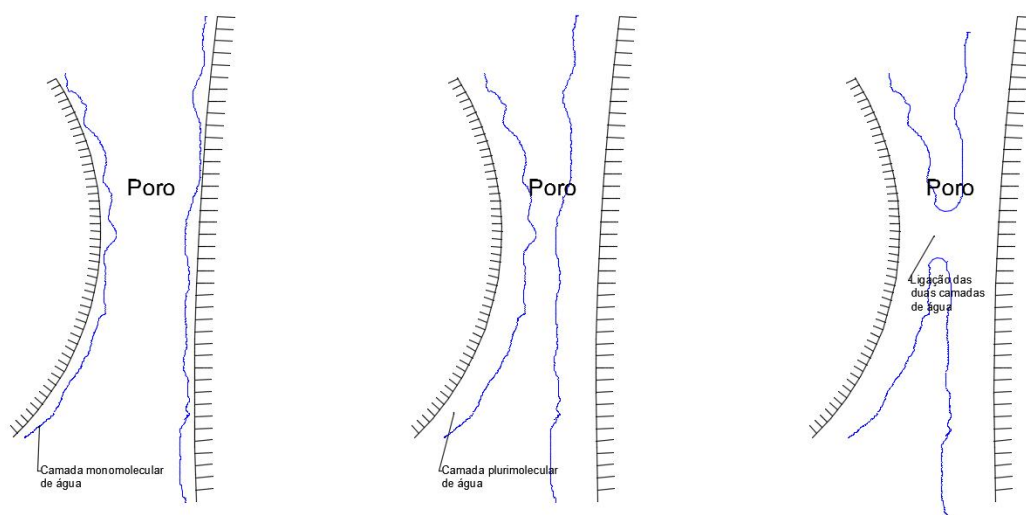


Fig. 3 – Etapas de fixação de vapor de água por adsorção – imagem adaptada de Ramos, 2000

Outra importante característica de um material poroso é a higroscopicidade que é a capacidade um material variar o seu teor de humidade quando é sujeito a um ambiente cuja humidade relativa varia. Cada material tem uma higroscopicidade diferente que pode ser facilmente analisada através de uma curva de adsorção higroscópica (Fig. 4) formando um S onde o ponto de inflexão está em média entre 30 e 70% (Delcelier, 1989).

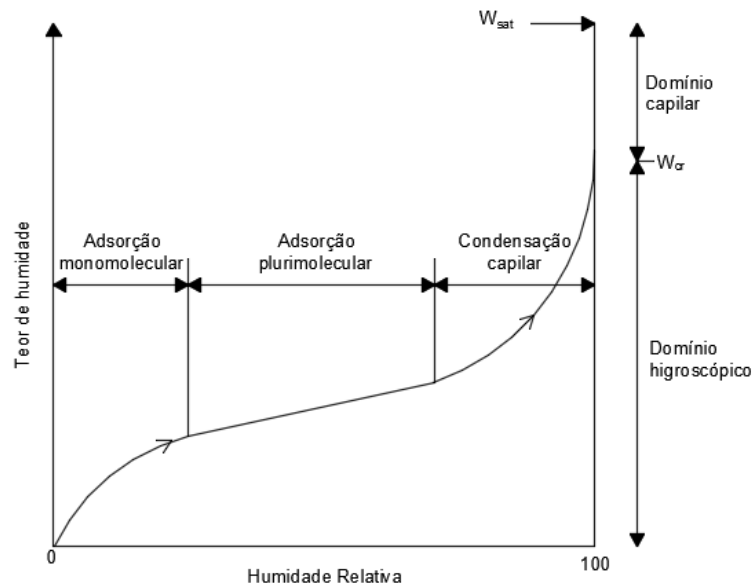


Fig. 4 – Curva de adsorção higroscópica

Apesar do que seria de esperar, uma curva de adsorção e uma curva de desadsorção não são coincidentes, tendo a desadsorção um teor de humidade sempre superior à adsorção (Fig. 5). Este fenómeno denomina-se histerese.

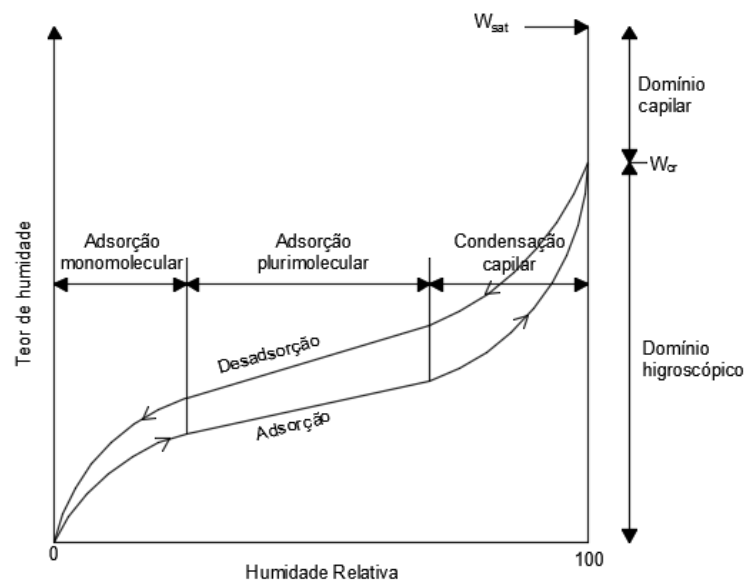


Fig. 5 – Curvas de adsorção e desadsorção higroscópica – imagem adaptada de Ramos, 2000

### 2.3. SECAGEM DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Entende-se por secagem a extração da água contida num material húmido de forma a obter-se um material seco transformando a água líquida em vapor de água.

Normalmente na construção civil a secagem dos materiais costuma dar-se de forma natural. A secagem está terminada quando forem atingidos os valores do teor de humidade de equilíbrio, que dependem da humidade relativa do ambiente onde decorre a secagem. Quando o material atinge o equilíbrio, a secagem só irá prosseguir através do recurso a processos artificiais (Castro, 1998).

Quando um material, completamente embebido em água, é colocado num ambiente com temperatura e humidade relativa constantes podem ser identificadas três fases distintas no processo de secagem:

- A primeira fase de fluxo é constante, a água líquida migra do interior do material para a superfície através de forças capilares. A quantidade de água evaporada à superfície é inferior à quantidade de água transportada por capilaridade para a superfície.
- A segunda fase inicia-se quando a quantidade de água transportada para o exterior do material é inferior à quantidade de vapor de água libertada pelo material. Nesta fase o fluxo de água do interior para o exterior é reduzido gradualmente, o processo de evaporação passa a dar-se no interior do material, e a humidade é transportada por capilaridade para a superfície do material. Durante esta fase uma parte do material está no domínio higroscópico e outra fração está no domínio capilar. A secagem dá-se por capilaridade no interior do material e por difusão de vapor desde a frente húmida até à superfície.
- A terceira fase inicia-se quando todo o material apresentar comportamento higroscópico. Nesta fase o fluxo de secagem tende assintoticamente para zero.

As três fases estão representadas de forma esquemática na Fig. 6, considerando a humidade relativa e temperatura constantes ao longo do tempo (Castro, 1998).

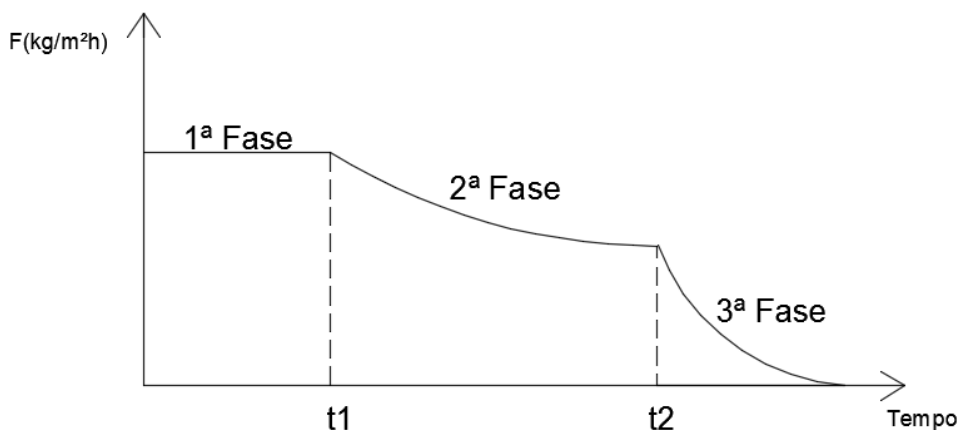


Fig. 6 – Evolução do fluxo de secagem em função do tempo – imagem adaptada de (Castro, 1998)

Um material é considerado seco quando em contacto com o ar não existem mais trocas de humidade, ou seja, ao fim da terceira fase. Um material pode ser considerado suficientemente seco para a sua finalidade antes de este estar em equilíbrio com o meio ambiente.

# 3

## PROCESSO DE SECAGEM – IMPORTÂNCIA DO TEOR DE HUMIDADE

### 3.1. PROCESSOS DE AVALIAÇÃO DE TEOR DE HUMIDADE *IN SITU*

#### 3.1.1. SONDA DE HUMIDADE RELATIVA DE BETÃO

Este método de medição da humidade utiliza uma sonda, que permite a medição da humidade relativa e temperatura de forma contínua.

A sonda é constituída por duas partes, a cabeça e o corpo, o corpo é a parte onde existem os sensores de humidade e temperatura enquanto a cabeça é onde se encontra o display passível de fazer a leitura dos resultados. Toda a sonda é inserida no orifício, previamente realizado no material, para que esta não se torne um obstáculo ao medir continuamente até que os valores definidos sejam atingidos. Podem também ser utilizadas sondas sem display onde a medição é feita ligando a sonda a um aparelho que faz a leitura da humidade relativa (Kanare, 2005).

É um dos métodos mais precisos porque mede a humidade relativa em profundidade. Esta sonda pode ser aplicada em lajes, aplicando-o no betão ou na camada de enchimento.

#### 3.1.2. TESTE DA FOLHA DE PLÁSTICO (ASTM, 2012)

O teste da folha de plástico (ASTM D4263 – 83 (2012)) consiste na colagem com fita-cola de uma folha com 460mm<sup>2</sup> com 0,1mm de espessura de polietileno na superfície a testar. Após 16 horas é feita uma análise à superfície que esteve em contacto com o material para encontrar sinais de humidade. Se o plástico estiver húmido ou a superfície apresentar uma cor mais escura significa que a superfície ainda não está preparada para receber outro material. Pode ser também usado um plástico mais grosso aumentando o tempo de espera para 24 horas. Os critérios de aceitação não estão definidos na norma. (Kanare, 2005)

Este teste pode apresentar falsos negativos se a temperatura da superfície seja superior à temperatura ponto de orvalho. Este método é aplicável a paredes ou pisos de betão ou betão leve.

#### 3.1.3. TESTE DE MAT BOND (KANARE, 2005)

Este teste utiliza uma amostra de 1m<sup>2</sup> de vinil especificado para o ensaio. O vinil este é colado com o mesmo material de fixação que irá ser utilizado para colar o piso. Após 72 horas esta amostra é puxada

à mão, a força que for necessária para arrancar o material é analisada, assim como a cola que estava a segurar a amostra.

Se a cola estiver húmida e o material for facilmente arrancado significa que a superfície ainda não está suficientemente seca. Se por outro lado for difícil arrancar o material significa que a superfície já se encontra suficientemente seca.

Este método é pouco preciso e necessita de ser efetuado por alguém com experiência. Outro problema deste método é o facto de apenas analisar a camada superficial podendo depois surgir problemas a longo prazo. Este método é aplicável a paredes ou pisos de betão ou betão leve.

#### 3.1.4. MEDIDOR DE FREQUÊNCIA RÁDIO

Este método utiliza ondas rádio para avaliar o teor de humidade e varia conforme cada fabricante. Normalmente tem uma profundidade de leitura de cerca de 2cm e uma escala de cores de verde a vermelho, sendo que a cor verde indica pouca humidade e a cor vermelha indica uma grande quantidade de humidade. Este aparelho pode ser aplicado em qualquer material poroso.

#### 3.1.5. MEDIDOR DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Este aparelho utiliza a condutividade elétrica para medir o teor de humidade. O aparelho tem 2 pinos que são encostados à superfície para medir a condutividade do material entre os pinos. Quanto mais húmido estiver o material menor é a resistência elétrica. Normalmente estes aparelhos são acompanhados por tabelas ou outros sistemas de calibração (Marinho, 2014).

Para que os resultados sejam mais corretos é recomendado que se perfure com uma broca cerca de 2cm para colocar os pinos mais profundamente na superfície. Existe também a possibilidade de perfurar e colocar pinos com 10cm de profundidade. Este aparelho pode ser aplicado em qualquer material poroso.

#### 3.1.6. MEDIÇÃO DA VARIAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA

Estes aparelhos utilizam dois eletrodos que quando em contacto com o material medem a constante dielétrica. A constante dielétrica representa a permeabilidade do material em relação à permissividade do vácuo.

A propriedade medida com estes equipamentos é a capacidade do condensador armazenar a energia criada entre os dois eletrodos. A constante dielétrica é tão mais alta quanto o teor de humidade do material (Marinho, 2014).

#### 3.1.7. DETECÇÃO DE HUMIDADE ATRAVÉS DE INFRAVERMELHOS

Apesar de ser mais direccionado para o âmbito da térmica, este aparelho que capta a radiação térmica pode ser usado para detetar humidade. Mesmo não tendo a capacidade de determinar o teor de humidade, permite verificar a diferença entre uma zona seca e uma zona húmida.

É prático pois não necessita de estar em contacto com a parede, podendo fazer-se a observação a vários metros de distância e os resultados são apresentados instantaneamente num ecrã.

O problema deste método reside no facto de por vezes não ser possível determinar se o ponto frio se trata de humidade, de uma ponte térmica ou outra causa. Este método pode ser aplicado a qualquer material e em qualquer local.

#### 3.1.8. MEDIÇÃO DE TAXA DE EMISSÃO DE VAPOR UTILIZANDO CARBONETO DE CÁLCIO (ASTM F 1869-04)

É o teste mais utilizado nos Estados Unidos da América e recomendado por várias entidades (Kanare, 2005).

O carboneto de cálcio reage quando entra em contacto com a humidade formando assim acetileno, hidróxido de cálcio e calor. O kit de medição contém um prato com cerca de 75mm de diâmetro, 16g de carboneto de cálcio, ampolas de controlo, balança, esferas de aço, juntas de reserva, materiais para recolha e preparação de provete e material de limpeza. O teste é realizado *in situ* e é possível obter medições muito fiáveis. (Carvalho, 2010)

Trata-se de um método destrutivo sendo necessário retirar uma amostra de material. Este método é aplicável a qualquer material poroso desde que seja possível retirar uma amostra do mesmo.

#### 3.1.9. MÉTODO DE MEDIÇÃO GRAVIMÉTRICO

É um método simples embora moroso que permite determinar a massa de água que a amostra de material contém.

O método consiste em retirar uma amostra de material e medir a sua massa. De seguida o material é colocado numa estufa onde é seco. Posteriormente é novamente pesado e a diferença de massa corresponde à massa de água que a amostra continha.

É importante salientar que a amostra deve ser sempre guardada em sacos estanques até que esta seja ensaiada para que não perca humidade e os resultados sejam comprometidos.

É o método mais fiável cujas desvantagens consistem em não ser possível obter resultados imediatos, ser um método destrutivo e ter um custo de equipamento muito elevado (estufa).

Este método pode ser aplicado a todos os materiais desde que seja possível retirar uma amostra.

### 3.2. VALORES DE REFERÊNCIA DO TEOR DE HUMIDADE

#### 3.2.1. CURVAS HIGROSCÓPICAS (RELAÇÃO HUMIDADE RELATIVA/TEOR DE HUMIDADE)

Quando um material está em equilíbrio com o ambiente, a pressão de vapor de água e a temperatura nos poros do material é a mesma do ambiente que o rodeia. Quando um material está a secar existe perda de água com o meio ambiente até que o estado de equilíbrio aconteça. Podemos, então, relacionar a humidade relativa do meio ambiente com o teor de humidade do material através de curvas higroscópicas.

##### 3.2.1.1. Betão

As curvas higroscópicas variam com a temperatura, com a relação água/cimento e também com a massa volúmica por isso é impossível definir uma única curva para um material mas sim um conjunto de curvas com estas variáveis.

Segundo Kielsgaard-Hansen em 1986 o teor de humidade de um betão com massa volúmica de 2300 kg/m<sup>3</sup>, temperatura de 20°C e uma relação água/cimento de 0,40 varia entre cerca de 0,8 e 2,4 % para uma humidade relativa entre 20 e 80%. O mesmo autor testou um betão variando apenas a relação água/cimento para 0,72 o teor de humidade variou entre 0,9 e 1,9% para uma humidade relativa entre 20 e 80%, respetivamente.

O autor Hedenblad utilizou uma relação água/cimento de 0,65 obtendo valores de cerca de 1,1 e 2,2% para humidades relativas entre 20 e 80%.

A Fig. 7 representa os três casos estudados pelos dois autores, com relações de água/cimento de 0,4, 0,8 e 0,65.

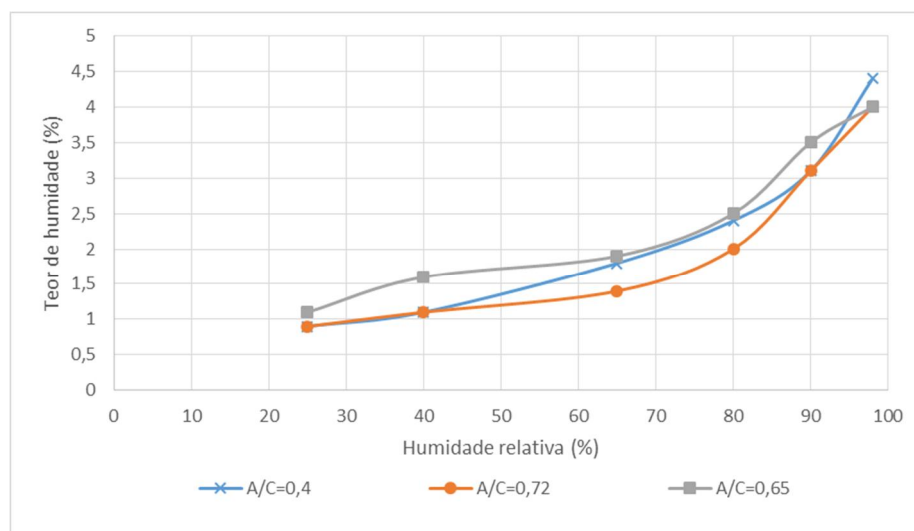


Fig. 7 – Curvas de adsorção do betão com A/C=0,4, A/C=0,65 e A/C=0,72 com imagem adaptada de Hedenblad, 1987; Kielsgaard-Hansen, 1986

É possível observar no gráfico da Fig. 7 que a curva com relação água/cimento de valor 0,72 tem teores de humidade inferiores aos teores de humidade com relação água/cimento de 0,4 e 0,65. Este conjunto de resultados contraria a tendência do teor de humidade ser mais alto quanto maior for a relação água/cimento mas o a massa volúmica é diferente não se podem comparar diretamente os resultados. A Tabela 1 resume os teores de humidade de diferentes betões.

Tabela 1 – Resumo de teores de humidade de diferentes betões

Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	Relação água/cimento	Teor de humidade para humidade relativa de 20% (%)	Teor de humidade para humidade relativa de 80% (%)
2300	20°C	0,40	0,8 %	2,4 %
2300	20°C	0,72	0,9 %	1,9 %
2500	20°C	0,65	1,1 %	2,2%



### 3.2.1.2. Betão leve

O betão leve pode ter massas volúmicas muito distintas por isso é importante conhecer as suas curvas higroscópicas.

O autor Hedenblad testou três betões com 3 massas volúmicas diferentes. Os três casos estão representados na Fig. 8, com massas volúmicas de 640, 670 e 1200 kg/m<sup>3</sup>.

Na mesma figura é também apresentado um estudo de Tada, 2006 com um betão de massa volúmica de 480 kg/m<sup>3</sup>.

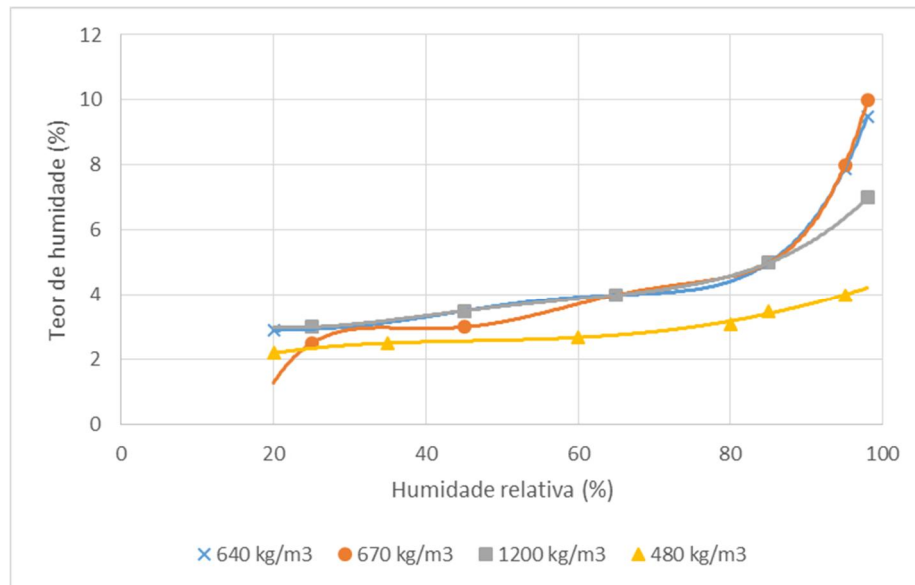


Fig. 8 – Curva de adsorção do betão leve com massa volúmica de 640 kg/m<sup>3</sup>, 670 kg/m<sup>3</sup>, e 1200 kg/m<sup>3</sup> imagem adaptada de (Hedenblad, 1987) e com massa volúmica de 480 kg/m<sup>3</sup>, imagem adaptada de (Tada, 2006)

Tal como no caso anterior, do betão, é possível observar a diferença de resultados dos diferentes autores. O autor Hedenblad obteve resultados muito similares apesar da disparidade de massas volúmicas, sendo quase impercetível a diferença do teor de humidade até a humidade relativa atingir 85%. Já a curva obtida pelo autor Tada, apesar de aos 20% de humidade relativa apresentar valores do teor de humidade muito parecidos com os valores obtidos por Hedenblad, estes ficam muito diferentes quando a humidade relativa aumenta.

Tabela 2 - Resumo de teores de humidade para diferentes betões leves

Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	Teor de humidade para humidade relativa de 20% (%)	Teor de humidade para humidade relativa de 80% (%)
640	20°C	2,9 %	4,9 %
670	20°C	2,5 %	5,0 %
1200	20°C	2,9 %	4,5 %
480	20°C	2,1 %	3,1 %

### 3.2.1.3. Reboco de cimento

O autor Hedenblad testou também 2 tipos de argamassas de cimentos, com a mesma massa volúmica de  $2000 \text{ kg/m}^3$ , à temperatura de  $20^\circ\text{C}$  mas com diferentes relações água/cimento, 0,7 e 0,8 como apresentado na Fig. 9 e Tabela 3.

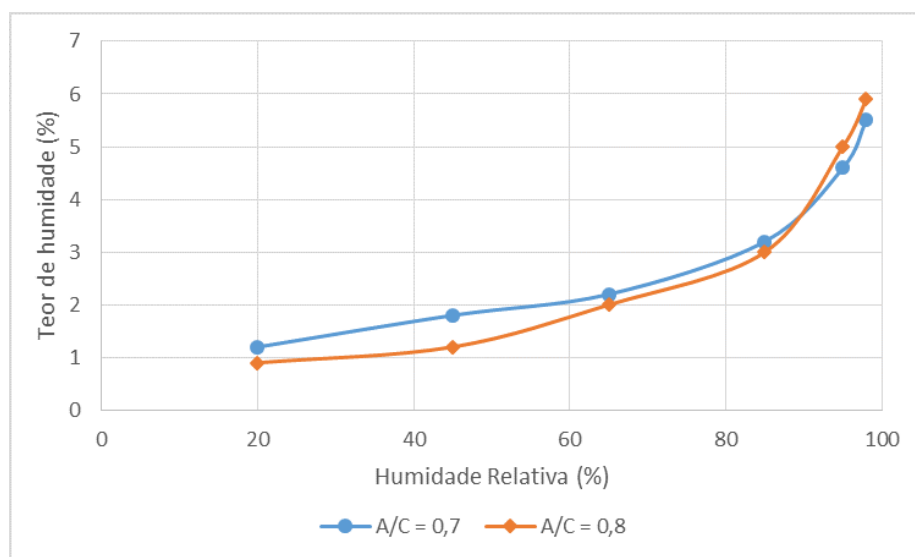


Fig. 9 - Curva de adsorção do reboco de cimento com relação água/cimento=0,7 e 0,8, imagem adaptada de (Hedenblad, 1987)

Como a relação água/cimento nos dois casos é muito semelhante as duas curvas são muito similares mas é possível observar que uma menor relação de água/cimento possui um teor de humidade mais constante do que um reboco com uma relação água/cimento maior.

Tabela 3 - Resumo de teores de humidade para diferentes rebocos de cimento

Massa volúmica ( $\text{kg/m}^3$ )	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Relação água/cimento	Teor de humidade para humidade relativa de 20% (%)	Teor de humidade para humidade relativa de 80% (%)
2000	$20^\circ\text{C}$	0,7	1,1 %	2,9 %
200	$20^\circ\text{C}$	0,8	0,9 %	2,8 %

### 3.2.1.4. Gesso

O autor Hedenblad estudou também o gesso com a massa volúmica de  $1340 \text{ kg/m}^3$ , como este material tem um comportamento mais constante que os demais apenas é apresentada uma curva de adsorção (Fig. 10) e Tabela 4.

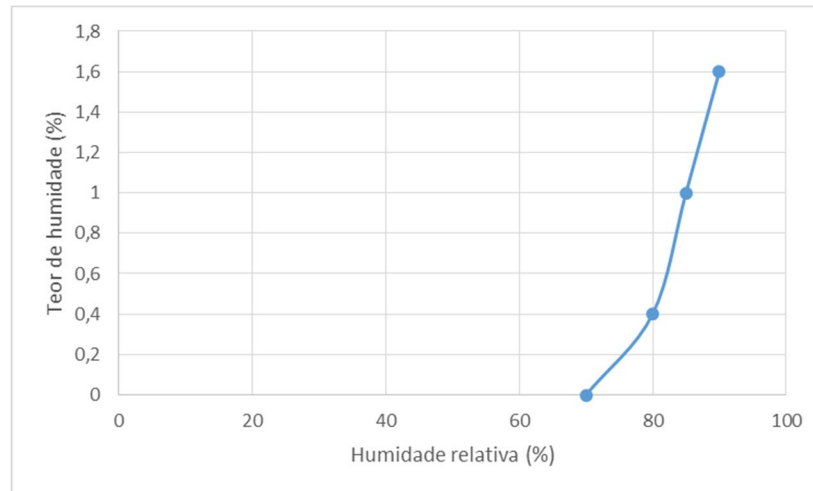


Fig. 10 - Curva de adsorção do gesso, imagem adaptada de (Hedenblad, 1987)

Segundo o estudo levado a cabo por Hedenblad o gesso tem teores de humidade muito baixos, tendo um teor de humidade de 0% em condições de 70% de humidade relativa.

Tabela 4 – Resumo de teores de humidade para gesso

Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de humidade para humidade relativa de 20% (%)	Teor de humidade para humidade relativa de 80% (%)
1340	0 %	0,4 %

### 3.2.2. VALORES RECOMENDADOS DO TEOR DE HUMIDADE

#### 3.2.2.1. Betão e betão leve

Para que o betão atinga o teor de humidade requerido existe um conjunto de fatores que devem ser considerados (Lopes, 2004):

- Tipo de cimento
- Tipo e quantidade de agregados
- A relação água/cimento
- As condições de cura e secagem
- Espessura da peça de betão

Um cubo de betão com cerca de 0,77 m<sup>3</sup> com um rácio de água/cimento de 0,5 contém cerca de 125 kg de água. Cerca de metade é usada para a hidratação do cimento enquanto a outra metade não tem qualquer tipo de utilidade, ou seja, cerca de 3,2% da massa é água que não tem qualquer utilidade e terá que evaporar. Se o betão tiver que ser hidratado durante a cura esta percentagem pode crescer cerca de mais 7%, ou seja, são quase 200kg/m<sup>3</sup> que terão que evaporar.

Segundo Kanare os valores da humidade relativa que devem ser atingidos antes da aplicação de materiais como vinil, linóleo, piso flutuante, e outros materiais não respiráveis como o epoxy devem

variar entre 75 a 80%, assentando estes valores no estudo: “*Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes*”.

Os níveis aceitáveis de humidade relativa foram estabelecidos e publicados na Finlândia e na Suécia para os variados tipos de material a colocar sobre uma laje de betão. Os valores máximos estão apresentados na Tabela 5 e Tabela 6 respetivamente (Harrison et al., 2006):

Tabela 5 – Valor máximo de humidade relativa no betão segundo *The Finnish SisaRYL 2000 Code of Building Practice*

Max. %HR	Teor de humidade máximo betão (%)	Teor de humidade máximo betão leve (%)	Material a aplicar sobre o betão
60%	1,5%	3,8%	<i>Parquet</i> sem película de plástico entre a madeira e o betão
80%	2,0%	4,5%	<i>Parquet</i> de mosaico no betão
85%	2,2%	5%	Carpete com feltro ou base de plástico celular Camada de cortiça com barreira de película de plástico Carpete de têxtil com cola, PVC ou revestido com borracha de latex Carpete de têxtil de fibras naturais
90%	2,8%	6%	Vinil Carpete de plástico sem feltro ou base plástica Linóleo

Tabela 6 - Valor máximo de humidade relativa no betão segundo *Swedish HusAMA83*

Max. %HR	Teor de humidade máximo betão (%)	Teor de humidade máximo betão leve (%)	Material a aplicar sobre o betão
80%	2,0%	4,5%	Madeira e matérias à base de madeira Chão de vinil com que possa fornecer nutrientes para crescimentos micológicos Camada de cortiça sem camada de vinil na parte de inferior
85%	2,2%	5%	Material homogéneo de vinil para revestimentos colados que não toleram a degradação da cola ao chão por substâncias alcalinas no betão Camada de cortiça com barreira de película de plástico
90%	2,8%	6%	Produto em camadas, colados, que não toleram a degradação da cola ao chão por substâncias alcalinas no betão

Segundo o *Building Code clause for External Moisture* uma laje de betão pode conter no máximo 75% de humidade relativa antes da aplicação do revestimento quando é utilizado um higrómetro, contudo, devido às variações da precisão do higrómetro a BRANZ (empresa australiana independente e imparcial de pesquisa, testes, consultadoria e informação da indústria da construção) recomenda um máximo de 70% de humidade relativa (Elkink, 2009), ou seja, corresponde a um teor de humidade máximo de cerca de 1,8% para o betão e cerca de 4,2% para um betão leve.

Segundo (Cunnigham, 2008) é frequente os manuais indicarem que os produtos a serem aplicados sobre uma laje de betão que estes podem ser aplicado quando for atingido 5,5% de teor de humidade e 75% de humidade relativa.

A medição do teor de humidade é feita com um higrómetro que faz a medição a apenas alguns milímetros de profundidade. É então necessário ter cuidado porque o interior da laje pode estar ainda húmido, principalmente quando são utilizados desumidificadores que secam primeiro a superfície mas o interior da laje pode estar ainda muito húmido como mostra a Fig. 11 (Cunnigham, 2008).

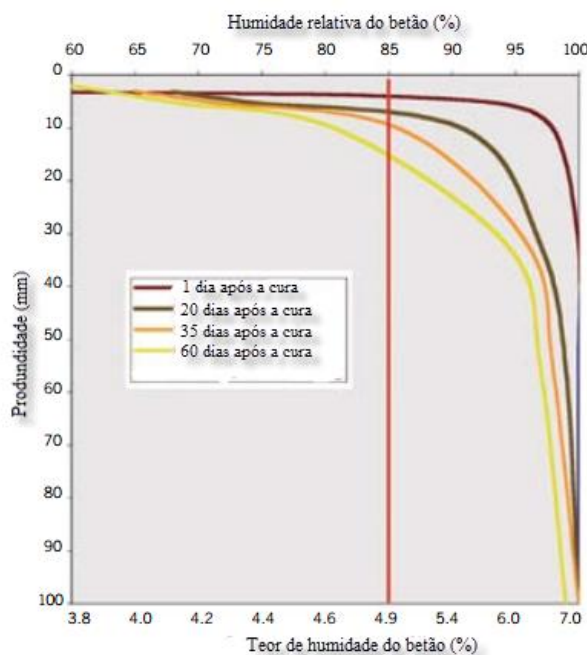


Fig. 11 – Evolução de teor de humidade em profundidade, adaptado de (Cunnigham, 2008)

Analisando a Fig. 11 é possível observar que numa profundidade de apenas 4cm podemos notar uma diferença de cerca de 2,5% no teor de humidade quer o betão tenha 20 dias ou 60 dias de cura. Prova-se assim a dificuldade de eliminar a humidade em profundidade.

### 3.2.3. REBOCO DE CIMENTO

O reboco é normalmente a camada que é pintada portanto terá que estar seca o suficiente para que tinta seja aplicada e mais tarde não ocorram problemas de aparecimento de humidade. Segundo o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), no livro *Revestimentos por Pintura para a Construção Civil* (Marques e Rodrigues, 1991) a pintura de qualquer substrato exige que, pelo menos, se tenha atingido o grau de secagem correspondente ao estado de equilíbrio com a atmosfera circundante, que varia em função da natureza do material, das condições exteriores, etc. Recomenda também que para estuques, rebocos de cimento e betões o teor de humidade seja inferior a 5% porque a presença de humidade nas paredes e tetos favorece a agressividade química dos rebocos e estuques podendo aparecer manchas e eflorescências, diminuição de adesão e endurecimento da película de tinta.

## 3.3. DURAÇÃO DO PERÍODO DE SECAGEM

### 3.3.1. BETÃO

A indústria da construção de pisos em betão tem considerado, como valor aceitável, que o tempo de secagem de 2,54 cm acontece em cerca de um mês, ou seja, cerca de 1mm por dia (Kanare, 2005).

De acordo com a *American Society for Testing Materials* (ASTM), para que um piso de betão atinja níveis de teor de humidade suficientemente baixos, para que não exista deterioração do revestimento,

o tempo de secagem deve variar entre seis semanas e seis meses. A norma ASTM E1907-97 (ASTM, 2012) apresenta uma lista dos tempos de secagem recomendados por diferentes instituições.

A *The International Certified Flooring Installers Association* (CFI) aconselha entre 90 a 120 dias para que o piso esteja pronto a ser revestido com têxtil ou de borracha.

O *Resilient Floor Covering Institute* (RFCI) indica que o piso de betão deve ser curado e seco durante um período mínimo de seis semanas, antes do emprego de qualquer tipo de revestimento resiliente.

A *Portland Cement Association* destaca que existem muitos fatores que podem influenciar o tempo de secagem do betão, como a condições ambientais, tipo de betão, localização e espessura do piso. Para se atingir o nível satisfatório deverá ser utilizado um período mínimo de 60 dias. (Costa, 2011)

Em Portugal, o LNEC recomenda um teor de água máximo admissível da base de assentamento, no momento da aplicação do revestimento, de 2,5% em relação à massa do material seco (Nascimento, 1995). Esta condição obriga a que após a conclusão das camadas de regularização que eventualmente se venham a executar sobre o pavimento, e desde que não tenham espessuras superiores a 40 mm, se aguarde um intervalo de tempo não inferior a quatro semanas, no Verão, e seis semanas no Inverno. Quando as camadas possuam espessuras superiores a 40 mm, deverão dilatar-se os prazos indicados, no mínimo uma semana por cada centímetro de espessura adicional da camada de regularização. (Costa, 2011)

Normalmente a relação água/cimento quando o betão é preparado é o critério mais importante no tempo de secagem do betão. Como se pode observar na Fig. 12 um betão com uma dosagem de água/cimento de 0,8 demora cerca de 28 dias para que a sua taxa de emissão de humidade atinja 10 kg/204,84m<sup>2</sup>/24h mas se a dosagem for de 0,4 este período pode ser reduzido cerca de 7 dias.

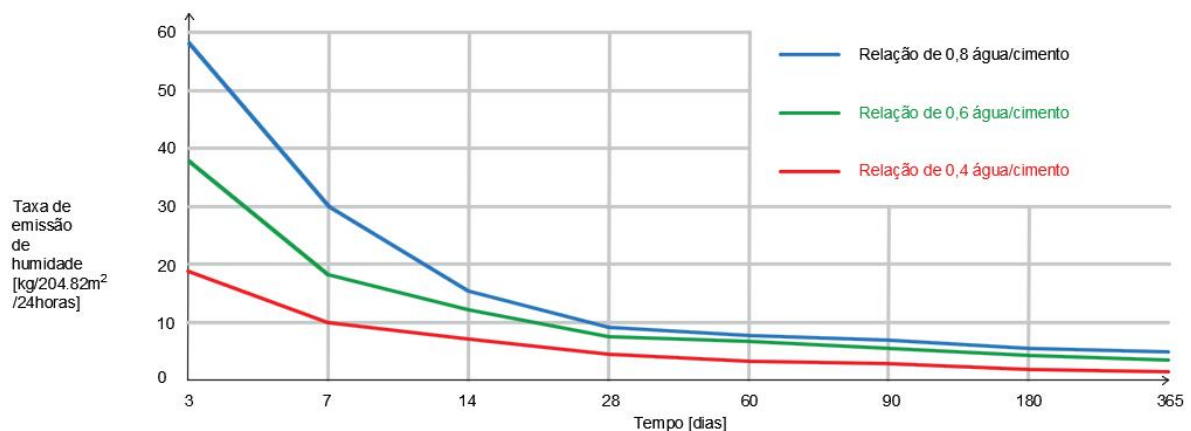


Fig. 12 – Tempo de secagem de betão no interior da secção (Kanare, 2005)

A Associação Sueca de Betão (Hedenblad, 1998) definiu um método de estimar o tempo mínimo de secagem se lajes de betão utilizando condições padrão e fatores de correção se as condições variarem.

As condições padrão utilizadas foram:

- A laje de betão com cimento Portland tem 180mm de espessura.
- Temperatura de secagem de 18°C
- Humidade relativa do ar de 60%
- A laje seca dos 2 lados (elevada)

- Condições de cura de betão de duas semanas de chuva e duas semanas com humidade relativa alta
- Relação água/cimento é o parâmetro usado para caracterizar o betão
- 85 e 90 % de humidade relativa vai ser usado para caracterizar as condições de humidade do betão depois da secagem

O tempo de secagem padrão é baseado na relação água/cimento e humidade relativa do betão.

Tabela 7 - Tempo de secagem padrão

Humidade relativa [%]	Relação água/cimento =0,4	Relação água/cimento =0,5	Relação água/cimento =0,6	Relação água/cimento =0,7
85	50 dias	90 dias	135 dias	180 dias
90	20 dias	45 dias	65 dias	95 dias

Os fatores de correção são aplicados consoante a espessura, exposição ao ar, temperatura, humidade e condições de cura.

Tabela 8 – Fatores de correção devido a espessura

Espessura	Relação água/cimento =0,4	Relação água/cimento =0,5	Relação água/cimento =0,6	Relação água/cimento =0,7
100 mm	0,4	0,4	0,4	0,4
150 mm	0,8	0,8	0,8	0,7
180 mm	1,0	1,0	1,0	1,0
200 mm	1,1	1,1	1,1	1,2
250 mm	1,3	1,4	1,5	1,8

Tabela 9 – Fatores de correção devido a lados expostos ao ar

Lados expostos	Relação água/cimento =0,4	Relação água/cimento =0,5	Relação água/cimento =0,6	Relação água/cimento =0,7
1 Lado	2,0	2,3	2,6	3,2
2 Lados	1,0	1,0	1,0	1,0



Tabela 10 - Fatores de correção devido a temperatura e humidade

Humidade Relativa %	10°C	18°C	25°C	30°C
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Tabela 11 – Fatores de correção devido a condições de cura

Condições de cura	Relação água/cimento =0,5	Relação água/cimento =0,6	Relação água/cimento =0,7
Seco	0,5	0,5	0,7
4 semanas de muita humidade	0,5	0,7	0,8
4 semanas a chover	1,0	1,3	1,3

Para se obter o número de dias necessários para a secagem basta multiplicar os dias padrão pelas correções correspondentes e obtemos o tempo mínimo de secagem de uma laje.

### 3.3.2. BETÃO LEVE

Segundo (Harrison et al., 2006) para um betão leve atingir cerca de 75% de humidade relativa, humidade considerada aceitável, o betão leve demora sensivelmente o dobro do tempo do betão normal.

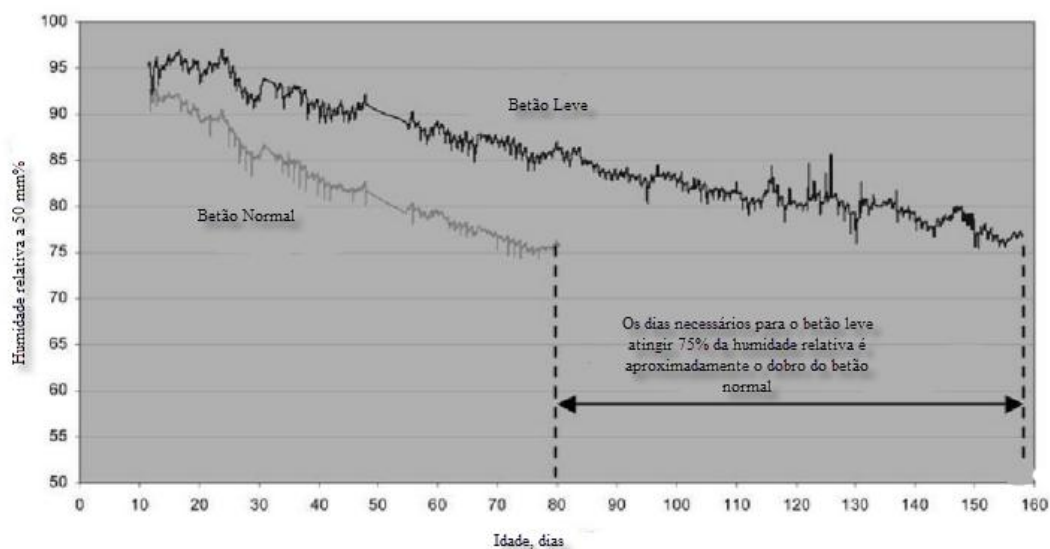


Fig. 13 – Tempo de secagem de um betão normal e um betão leve (Harrison et al., 2006)

O tempo de secagem do betão leve pode variar bastante dependendo da massa volúmica, na Tabela 12 estão representados 3 casos de estudo e o teor de humidade de cada um deles ao dia 30, 60 e 100.(Castro, 1998)

Tabela 12 – Teores de humidade verificados para diferentes massas volúmicas (Castro, 1998)

Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Espessura da camada (cm)	Teor de Humidade (kg/kg)		
		30 dias	60 dias	100 dias
450	20	0,31	0,26	0,23
600	10	0,17	0,12	0,10
	20	0,22	0,20	0,18

### 3.4. SÍNTESE

A Tabela 13 apresenta um resumo dos métodos de avaliação apresentados no capítulo 3.1 apresentando onde devem ser aplicados, as suas principais vantagens e desvantagens.

Tabela 13 – Resumo de métodos de avaliação de humidade

Métodos de avaliação da humidade	Condições de aplicação	Vantagens	Desvantagens
Sonda de humidade relativa	Deve ser aplicada apenas em lajes	Medição constante da humidade relativa	Análise a poucos centímetros de profundidade
Teste da folha de plástico	Pode ser aplicado a paredes ou lajes de betão	Resultados em 24 horas	Pode apresentar falsos negativos
Teste de Mat Bond	Pode ser aplicado a paredes ou lajes de betão	Teste com material de colagem a ser aplicado	Só avalia a humidade superficial
Medidor de frequência rádio	Pode ser aplicado a qualquer material poroso	Resultados imediatos	Leitura até 2 cm de profundidade
Medidor de resistência elétrica	Pode ser aplicado a qualquer material poroso	Resultados imediatos e possibilidade de perfurar a superfície e analisar em profundidade	
Deteção de humidade através de infravermelhos	Pode ser aplicado a qualquer superfície ou material	Resultados imediatos Ideal para encontrar zonas com humidade excessiva	Dificuldade de diferenciar pontes térmicas de zonas com humidade
Medição de taxa de emissão de vapor	Aplicável a betão	Método fiável	Necessidade de recolher amostra
Método gravimétrico	Aplicável a qualquer material	Método mais exato	Tempo de espera até obtenção de resultados

A Tabela 14 apresenta um resumo dos tempos de secagem recomendados por vários autores para o betão e betão leve apresentados no capítulo 3.3.

Tabela 14 – Tempo de secagem dos materiais

Material	Indicado pela entidade	Tempo de secagem
Betão	CTL Group	1 mm por dia para pisos
Betão	ASTM	De 6 semanas a 6 meses para pisos
Betão	CFI	90 a 120 dias para pisos
Betão	RFCI	6 semanas para pisos
Betão	LNEC	4 semanas no Verão e 6 semanas no Inverno para camadas com espessura até 4 cm, acrescentando uma semana por cada centímetro de espessura
Betão Leve	Harrison	Duas vezes mais tempo que o betão

# 4

## ENSAIOS LABORATORIAIS

### 4.1. PLANO DE ENSAIO

Os ensaios efetuados tiveram como objetivo avaliar o teor de humidade em provetes de betão leve, com diferentes massas volúmicas, espessuras, humidades relativas e diferentes temperaturas. Foi também avaliada a humidade num reboco pronto e numa camada de gesso, no total de 14 provetes de 50 por 50 centímetros.

Os provetes de betão leve foram realizados utilizando as quantidades definidas pela marca da argila expandida, *WEBER*, de forma a obter-se um betão com massa volúmica de  $550 \text{ kg/m}^3$  e um betão com massa volúmica de  $1100 \text{ kg/m}^3$ . Foram efetuados provetes com 10cm e 20cm de espessura de forma a verificar como é que a humidade varia com a variação da espessura do enchimento.

Alguns dos provetes secaram em ambiente natural e os outros dois secaram numa câmara de ambiente controlado, com uma temperatura constante de  $20^\circ\text{C}$  e humidade relativa de 80%. A humidade relativa de 80% foi escolhida por ser superior à humidade relativa ambiente e desta forma verificar a diferença no tempo de secagem entre os provetes de humidade relativa com valores mais altos e valores mais baixos.

A camada de reboco e a camada de gesso tinham apenas 2 centímetros de espessura e secaram à temperatura e humidade relativa natural.

Não foram efetuados provetes com massa volúmica de  $1100 \text{ kg/m}^3$  para colocar na câmara, porque eram muito pesados e porque não havia espaço suficiente na câmara.

A Tabela 15 presente no capítulo 4.2.5 resume os materiais, as massas volúmicas, espessuras, humidades relativas e temperaturas de cada provete.

### 4.2. MATERIAIS

#### 4.2.1. BETÃO LEVE COM MASSA VOLÚMICA DE $550 \text{ kg/m}^3$

O betão leve utilizado nos provetes foi fabricado no Laboratório de Física das Construções com o auxílio de uma betoneira. As quantidades de material a ser utilizadas no fabrico estão apresentadas na Fig. 14 que indica a quantidade de material necessário para fabricar betões com diferentes massas volúmicas segundo a marca *WEBER*. Para a execução do trabalho foi utilizada argila expandida da marca *WEBER* e cimento *CIMPOR* Tipo II/B-L 32.5N.

No total foram fabricados  $0,23 \text{ m}^3$  de betão leve de massa volúmica  $550 \text{ kg/m}^3$ , correspondendo a 237,4 litros de argila expandida, 21,4 litros de água e 31,5 kg de cimento.

TIPO DE BETÃO "CLASSE (EC2)"	RESISTÊNCIA (MPa)	MASSA VOLÚMICA (kg/m <sup>3</sup> )	AGREGADO LEVE			AREIA FINA AFD/2	CIMENTO CEM II-B/L 32,5N	ÁGUA
			LECA*L	LECA*M	LECA*S			
			LITROS	LITROS	LITROS	kg	kg	LITROS
F0.5D0.50.L	0,3	500	1035	-	-	-	100	60
F0.5D0.50.M	0,5	500	-	1055	-	-	110	90
F1D0.55.M	1,0	550	-	1055	-	-	140	95
F1D0.60.L	2,0	600	1035	-	-	-	150	75
F2D0.65.M		650	-	1055	-	-	200	110
F2D0.70.S		700	-	-	1100	-	180	130
F2D0.75.L		750	1035	-	-	-	210	105
F4D0.90.S.AF	4,0	900	-	-	1100	158	210	165
F4D0.95.M.AF		950	-	1055	-	158	300	160
F6D1.05.S.AF	6,0	1050	-	-	1100	260	220	190
F6D1.10.M.AF	8,0	1100	-	1055	-	340	260	185
F8D1.15.S.AF	8,0	1150	-	-	1100	290	260	205
F8D1.20.M.AF		1200	-	1055	-	370	300	200
LC8/9	12	1500	-	-	786	684	320	225

Fig. 14 – Quantidades de material necessário para o fabrico dos betões leves Weber

#### 4.2.2. BETÃO LEVE COM MASSA VOLÚMICA DE 1100 KG/M<sup>3</sup>

O betão leve de massa volúmica 1100 kg/m<sup>3</sup> foi fabricado nas mesmas condições do betão leve de massa volúmica 550 kg/m<sup>3</sup> diferenciando-se pela maior quantidade de cimento, água e areia fina como pode ser observado na Fig. 14.

No total foram fabricados 0,15 m<sup>3</sup> de betão leve de massa volúmica 1100 kg/m<sup>3</sup>, correspondendo a 158,25 litros de argila expandida, 27,8 litros de água, 39 kg de cimento e 51kg de areia fina.

Como era necessário que existisse uma superfície regular para utilizar os higrómetros aplicou-se uma camada de reboco pronto muito fina ficando as amostras com o aspeto da Fig. 15.

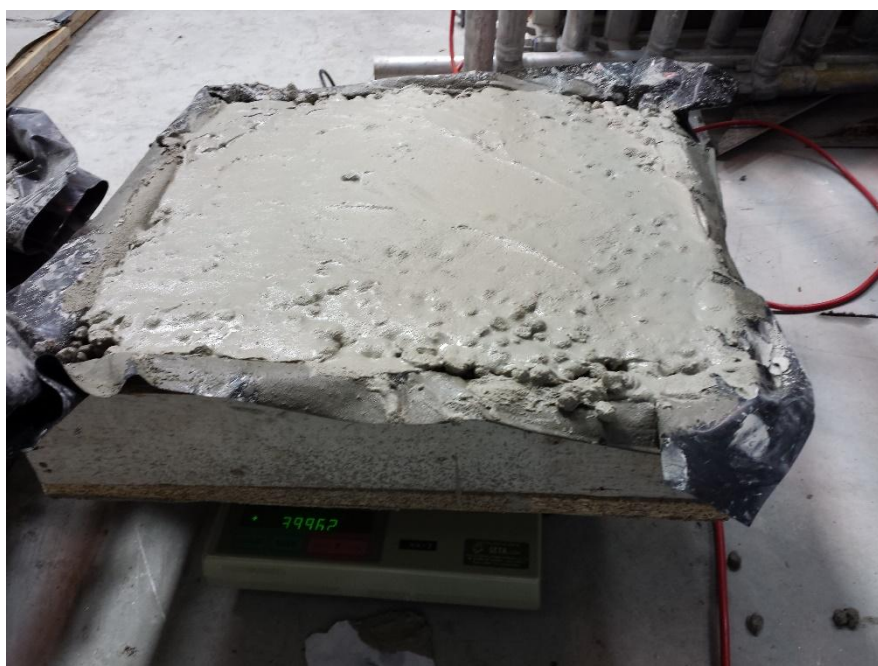


Fig. 15 – Aspeto final do betão leve

#### 4.2.3. REBOCO

O reboco utilizado foi o RHP Plus que é um reboco interior projetado, este foi amassado à mão por se tratar de quantidade muito pequena para utilizar em qualquer tipo de equipamento. Para que o reboco ficasse pronto apenas se adicionou água ao material RHP Plus e amassou-se até ter uma consistência trabalhável.

A água necessária para hidratar o reboco é de 15% da quantidade de RHP plus, segundo a ficha técnica do material.

A Fig. 16 corresponde ao aspeto final do reboco fabricado.

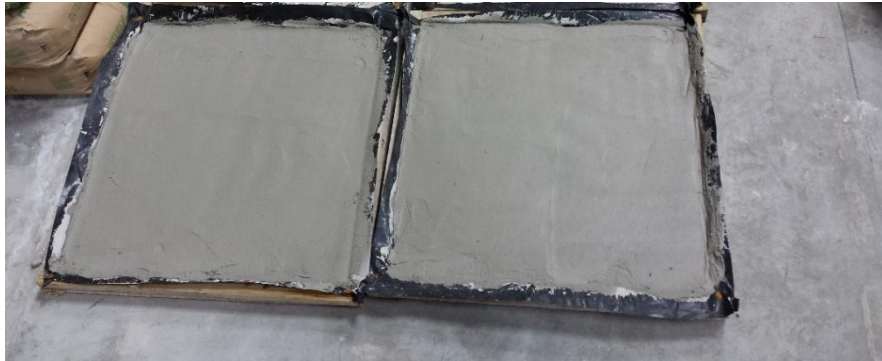


Fig. 16 – Aspeto do reboco

#### 4.2.4. GESSO

O gesso utilizado foi o gesso grosso para ser possível realizar uma camada com maior espessura, visto que o gesso de acabamento não deve exceder 3 mm. Esta camada foi também amassada à mão e teve uma hidratação de 50%, ficando com o aspeto final da Fig. 17.



Fig. 17 – Aspeto do gesso

## 4.2.5. SÍNTESE DE PROVETES

A Tabela 15 resume as características e quantidades de todos os provetes ensaiados

Tabela 15 - Quadro resumo dos provetes

Material	Quantidade de provetes	Dimensões (m)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Espessura (m)	Humidade Relativa (%)	Temperatura (°C)	Código de identificação
Betão leve	2	0,5x0,5	550	0,10	Ambiente	Ambiente	550/10/1
							550/10/2
Betão leve	1	0,5x0,5	550	0,10	80%	20°	550/10/Ca
Betão leve	2	0,5x0,5	550	0,20	Ambiente	Ambiente	550/20/2
							550/20/3
Betão leve	1	0,5x0,5	550	0,20	80%	20°	550/20/Ca
Betão leve	2	0,5x0,5	1100	0,10	Ambiente	Ambiente	1100/10/1
							1100/10/2
Betão leve	2	0,5x0,5	1100	0,20	Ambiente	Ambiente	1100/20/1
							1100/20/2
Reboco pronto	2	0,5x0,5	-	0,02	Ambiente	Ambiente	Reboco 1
							Reboco 2
Gesso	2	0,5x0,5	-	0,02	Ambiente	Ambiente	Gesso 1
							Gesso 2

## 4.3. EQUIPAMENTO

## 4.3.1. APARELHOS DE MEDIÇÃO

## 4.3.1.1. Protimeter MMS2

Este equipamento (Fig. 18) é, segundo a marca Protimeter, o medidor tudo-em-um mais avançado do mercado. Utiliza a rádio medição já abordada no capítulo 3.1.4.

Permite a medição da humidade relativa, da temperatura, do teor de humidade sem a utilização de pinos e, ainda, cálculos psicrométricos. Para utilizar o equipamento basta ligar o aparelho, escolher o tipo de medição que se pretende e encostar a parte de trás do equipamento ao material. Utilizando o método não invasivo é possível executar a medição relativa do teor de humidade a cerca de 1,5cm de profundidade, efetuando uma medição relativa entre 60 e 999, sendo que quanto mais alto for o valor mais húmida está a superfície.

A Tabela 16 mostra os valores relativos apresentados pelo aparelho e o seu significado segundo o seu manual de utilização.



Tabela 16 – Significado de valor relativo

Valor relativo	Significado
Menos de 60	-
Entre 60 e 170	Seco
Entre 170 e 200	Em risco
Entre 200 e 999	Molhado



Fig. 18 - Protimeter MMS2

#### 4.3.1.2. HUMIDÍMETRO CEBTP MX-HU

O equipamento apresentado na Fig. 19 tem como base a análise da variação dielétricas dos materiais como apresentado no capítulo 3.1.6, a sonda é constituída por dois anéis cobertos por uma borracha para melhor aderência e realiza medições de 3 a 5 cm de profundidade.

Este equipamento pode ser utilizado em qualquer tipo de material e é possível determinar indiretamente, através de uma curva de calibração, o teor de água do material.

O aparelho deve ser calibrado para devolver um valor de 200 quando em contacto com o ar, de seguida pode ser colocado no material a medir e quanto mais baixo for o valor devolvido mais húmido está o material. Para ser possível a conversão do valor devolvido pelo equipamento para um teor de humidade é necessário utilizar as curvas de calibração fornecidas juntamente com o equipamento (Fig. 20).



Fig. 19 – CEBTP MX-HU

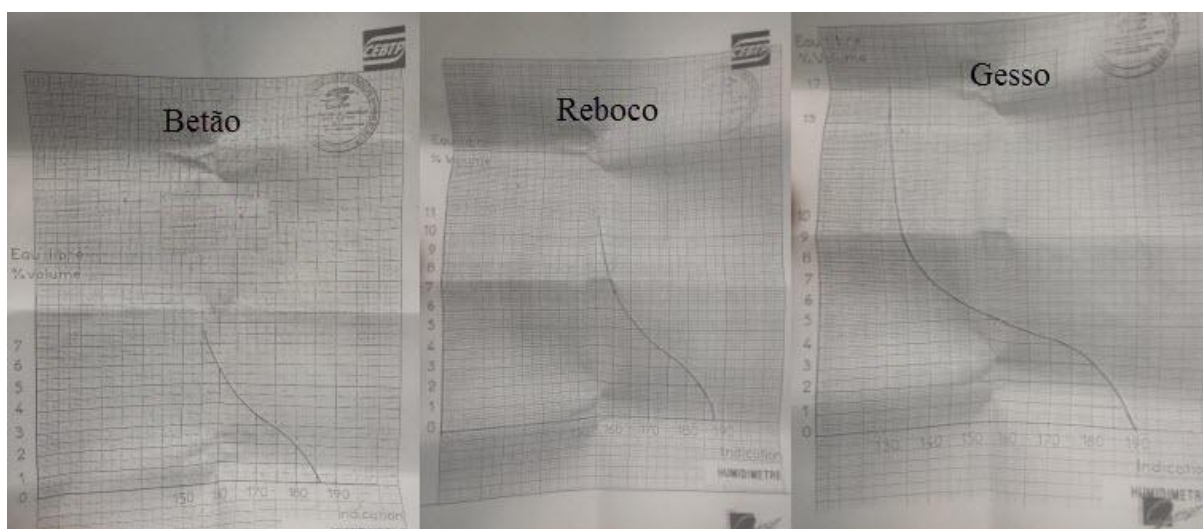


Fig. 20 – Curvas de calibração para betão, reboco e gesso do equipamento CEBTB

#### 4.3.1.3. Tramex Leak Seeker

O equipamento apresentado na baseia-se na variação dielétricas dos materiais e, tal como o equipamento anterior, é composto por dois eléctrodos revestidos a borracha na base do equipamento. O equipamento tem capacidade de medição até 7cm de profundidade e, tal como o seu nome indica, tem como principal funcionalidade encontrar fugas de água. É também ideal para verificar a evolução da secagem de um material porque apresenta uma escala até 100% que significa que o material está completamente húmido e desce à medida que o material seca.

Neste trabalho foram utilizadas duas sensibilidades, de nível 5 e de nível 7 para verificar a diferença entre elas. É importante ter em atenção que a quantidade de humidade indicada pelo detetor de humidade é relativo pois não existe curva de calibração para diferentes materiais, apenas a

possibilidade de comparar medição em diferentes locais ou ao longo do tempo sempre para o mesmo material.



Fig. 21 - *Tramex Leak Seeker*

#### 4.3.1.4. Data logger Mikromec multisens

O Data logger (Fig. 22) utiliza uma sonda (Fig. 23) que está aplicada no centro dos provetes a uma profundidade de cerca de 5cm e que permite a medição da humidade relativa a esta profundidade como apresentado no capítulo 3.1.1.

Apenas foram aplicadas 5 sondas, distribuídas por 5 provetes, por não existirem mais sondas disponíveis, ficando assim por registar o provete de massa volúmica  $1100 \text{ kg/m}^3$  e espessura de 10cm.

A sonda foi selada no provete através de silicone para que não existissem perdas de humidade através daquele ponto.



Fig. 22 – Data logger Mikromec multisens



Fig. 23 – Sonda aplicada no provete

#### 4.3.2. CÂMARA CLIMÁTICA

Este equipamento tem como função manter a amostra num ambiente controlado, onde a temperatura e a humidade relativa são constantes. A temperatura utilizada no ensaio foi de 20°C e a humidade relativa foi de 80%. A Fig. 24 e a Fig. 25 mostram a câmara no seu exterior e o seu interior, respetivamente.





Fig. 24 – Exterior de câmara climática



Fig. 25 – Interior de câmara climática

#### 4.3.3. ESTUFA DE SECAGEM

O equipamento existente no laboratório de engenharia civil, da marca Binder (Fig. 26), tem como função a secagem das amostras retiradas dos provetes, para isso foi utilizada uma temperatura de 80°C onde as amostras ficaram cerca de uma semana até estarem completamente secas.



Fig. 26 – Estufa de secagem

#### 4.3.4. EQUIPAMENTO AUXILIAR

Os equipamentos auxiliares utilizados foram a betoneira, a balança de precisão, a rebarbadora e a caroteadora.

A betoneira foi o equipamento utilizado para o fabrico do betão leve, que ao utilizar movimentos circulares com as suas pás interiores mistura os materiais constituintes do betão. A betoneira tinha uma capacidade de cerca de 0,1m<sup>3</sup> sendo por isso necessário realizar vários traços de betão até conseguir preencher todos os provetes.

Foram utilizadas duas balanças para a pesagem dos materiais, uma balança Sartórios (Fig. 27) de maior precisão para as amostras que foram secas na estufa, e uma balança Precisa 40000g (Fig. 28) para a pesagem das caixas, esta última tem um limite de 40000g por isso só foi possível pesar as amostras com 10 e 2 cm de espessura. A balança Sartórios tem uma precisão de 0,01g e a balança Precisa 40000g tem uma precisão de 1g.



Fig. 27 – Balança sartorius Fig. 28 – Balança Precisa 40000 G

A rebarbadora foi o equipamento utilizado para cortar as amostras, colocadas de seguida na estufa. O disco, de diamante, conseguia cortar cerca de 5cm. A Fig. 29 corresponde à rebarbadora utilizada.



Fig. 29 – Rebarbadora

A caroteadora utilizada (Fig. 30) foi um furador Black&Decker com uma peça aplicada que permite cortar carotes redondas com cerca de 5 cm de profundidade, no máximo. Este equipamento foi utilizado para a extração de carotes de reboco e gesso que apenas tinham 2 cm de profundidade.



Fig. 30 - Caroteadora

#### 4.4. PROCEDIMENTO

A preparação do ensaio começou pela realização das caixas de madeira que serviram como cofragem para a betonagem. As caixas de madeira tinham dimensão de 50 por 50 centímetros de dimensão e uma espessura de 10 e 20 centímetros para os ensaios ao betão leve e de 2 centímetros para os ensaios ao reboco e ao gesso. A dimensão de 50 centímetros é justificada pela quantidade de amostras que foram necessárias retirar de cada caixa, 6 no total, fazendo com que fosse possível retirar amostras interferindo pouco com a humidade do resto do provete. As caixas foram forradas com plástico pelo interior de forma a simular uma laje, que não perde humidade nem lateralmente nem inferiormente.

A Fig. 31 representa, num modelo 3d, as amostras de massa volúmica de  $1100 \text{ kg/m}^3$  onde estão presentes as amostras que foram cortadas, nestas mesmas caixas existe a informação da ordem e o local onde foram realizadas as recolhas das amostras. Em baixo estão representadas as duas caixas que se mantiveram intactas, nestas foram realizadas as medições com os higrómetros nas duas, a pesagem apenas da caixa de 10 cm de espessura e a medição da humidade relativa na caixa de espessura de 20 cm.

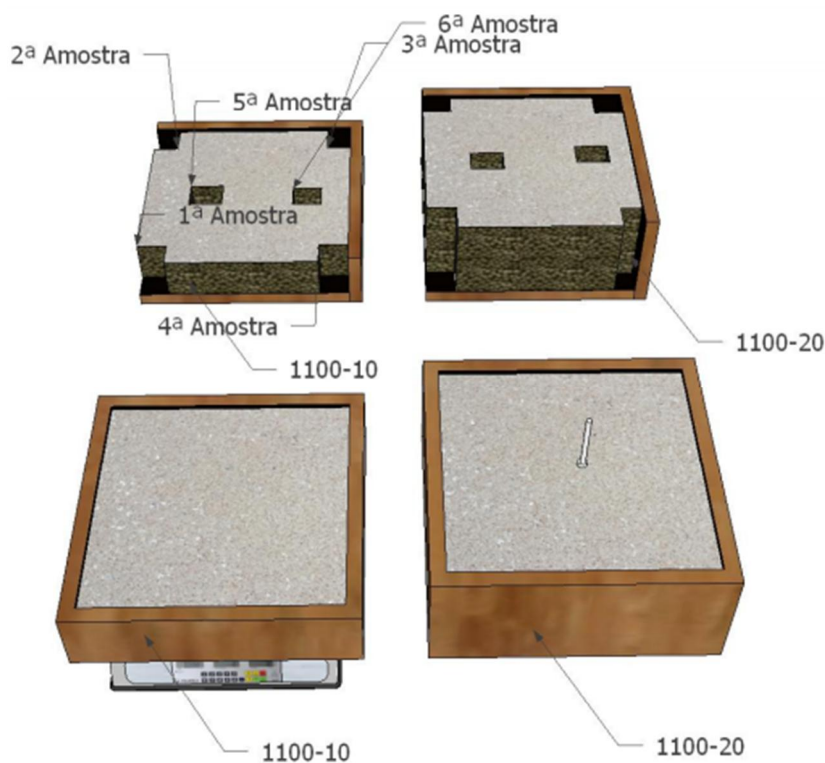


Fig. 31 – Representação 3d das caixas de massa volúmica  $1100 \text{ kg/m}^3$

A Fig. 32 representa, também, um modelo 3d das 4 caixas de massa volúmica  $550 \text{ kg/m}^3$ , onde estão representadas as duas intactas e as duas seccionadas. Às duas amostras intactas foram aplicadas as sondas de humidade relativa e apenas a caixa de 10 centímetros foi pesada. As caixas cortadas mostram a forma como foram retiradas as amostras e os respetivos códigos, associados a cada camada, de acordo com a sua profundidade.



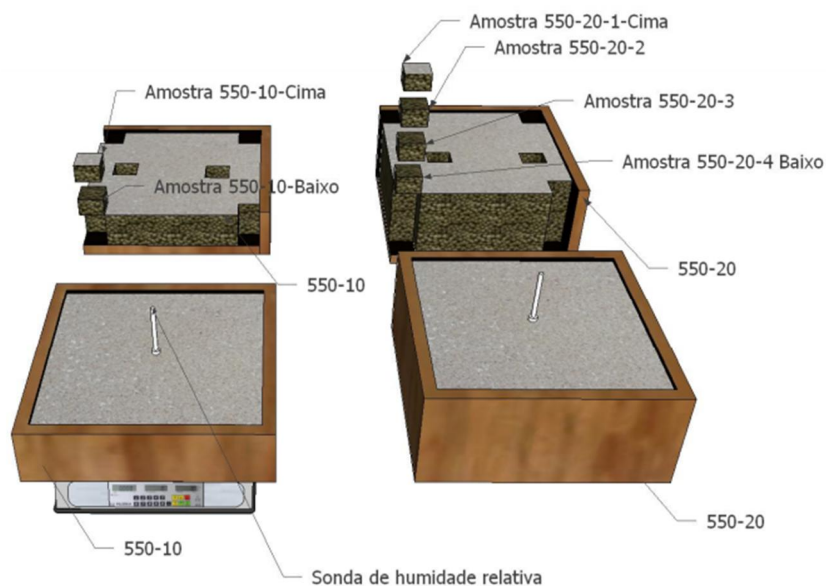


Fig. 32 – Representação 3d das caixas de massa volúmica 550 kg/m<sup>3</sup>

Na Fig. 33 está representada a câmara climática, com as duas amostras de betão leve de massa volúmica de 550 kg/m<sup>3</sup>. A amostra com espessura de 10 centímetros foi pesada e realizada a avaliação da humidade relativa e na amostra com espessura de 20 centímetros é avaliada apenas a humidade relativa.

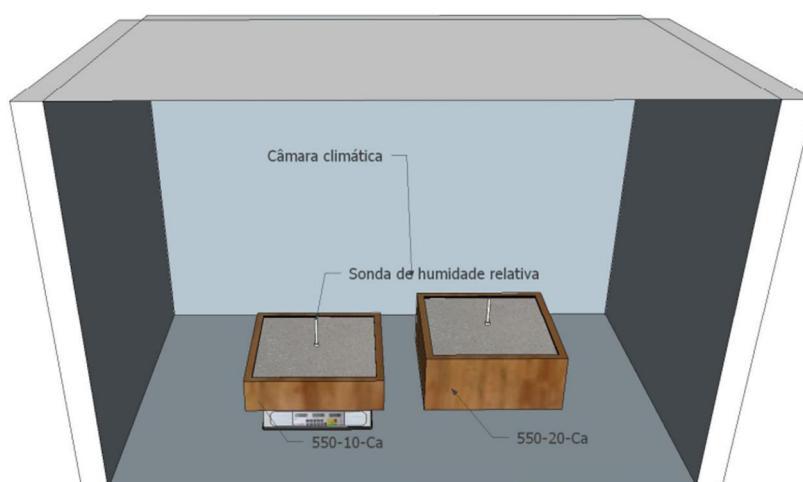


Fig. 33 – Representação 3d das caixas de massa volúmica 550 kg/m<sup>3</sup> na câmara climática

A Fig. 34 é uma representação dos provetes de reboco e gesso. Não foram aplicadas sondas de humidade relativas mas as duas amostras foram pesadas, tal como indica a figura. Estão também representados indicando os locais onde foram retiradas as carotes.

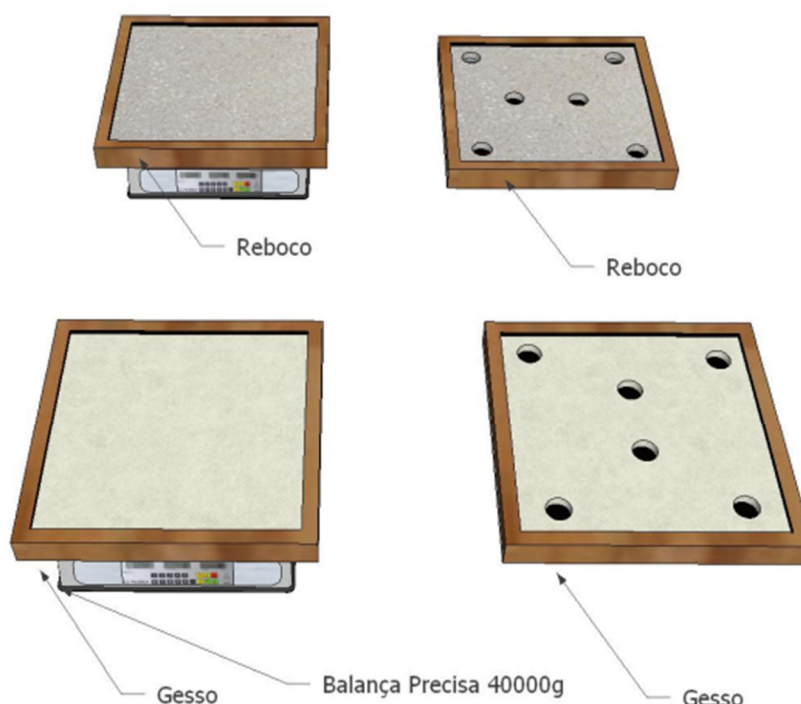


Fig. 34 – Representação 3d das caixas com reboco e caixas com gesso

Para controlar a quantidade de material a utilizar para o fabrico do betão foi utilizada a balança, desta forma foi possível utilizar a quantidade exata de material indicada na Fig. 14. Após a betonagem do betão leve, foi necessário aplicar uma camada fina de reboco na superfície dos provetes de forma a criar uma superfície homogénea para ser possível efetuar-se as medições com os aparelhos. A camada de reboco não ficou com um acabamento perfeito, fazendo com que as medições não fossem efetuadas com tanta facilidade.

No dia da betonagem foram efetuadas as pesagens dos provetes, e passados três dias, foi de novo efetuada a pesagem dos mesmos e aplicados os sensores de medição de humidade relativa. Os sensores foram selados com cola e veda para que não existisse contacto com o exterior, e a humidade relativa medida fosse a do interior do provete. Como só existiam disponíveis 5 sondas de medição de humidade relativa optou-se por não colocar a sonda no betão leve de massa volúmica  $1100 \text{ kg/m}^3$  e espessura de 10 cm já que este já estava a ser controlado através do método de pesagem dos provetes, todos os ensaios elaborados em cada provete estão descritos na Tabela 17.

No sétimo dia foram cortadas as primeiras amostras para a medição da humidade através do método gravimétrico. Os provetes com 10 cm de altura foram divididos em duas amostras de 5 cm e os provetes com 20 cm de altura foram divididos em quatro amostras de 5 cm podendo desta forma analisar a humidade a várias profundidades. A dimensão das amostras era de cerca de 6 cm por 6 cm.

No dia que as amostras foram extraídas foi medido o teor de humidade e humidade relativa, através dos equipamentos de medição explicados no capítulo 4.3.1.

Este processo repetiu-se uma vez por semana de forma a acompanhar a evolução do teor de humidade dos materiais, num total de 6 semanas.

Tabela 17 – Resumo de ensaios para cada material

Provete	Pesagem de provete	Método gravimétrico	Medição superficial com higrómetro	Sonda de humidade relativa
550/10/1	Sim	Não	Sim	Não
550/10/2	Não	Sim	Sim	Sim
550/10/Ca	Sim	Não	Sim	Sim
550/20/Ca	Não	Não	Sim	Sim
550/20/2	Não	Não	Sim	Sim
550/20/3	Não	Sim	Sim	Não
1100/10/1	Sim	Não	Sim	Não
1100/10/2	Não	Sim	Sim	Não
1100/20/1	Não	Não	Sim	Sim
1100/20/2	Não	Sim	Sim	Não
Reboco 1	Sim	Não	Sim	Não
Reboco 2	Não	Sim	Sim	Não
Gesso 1	Sim	Não	Sim	Não
Gesso 2	Não	Sim	Sim	Não

As pesagens das amostras foram realizadas com o material dentro das caixas de madeira e com a balança Precisa como apresentado na Fig. 35. Foi subtraída à massa total a massa das caixas, que era 4124g para caixas de 2 cm de espessura e 7040g para caixas de 10 cm de espessura.

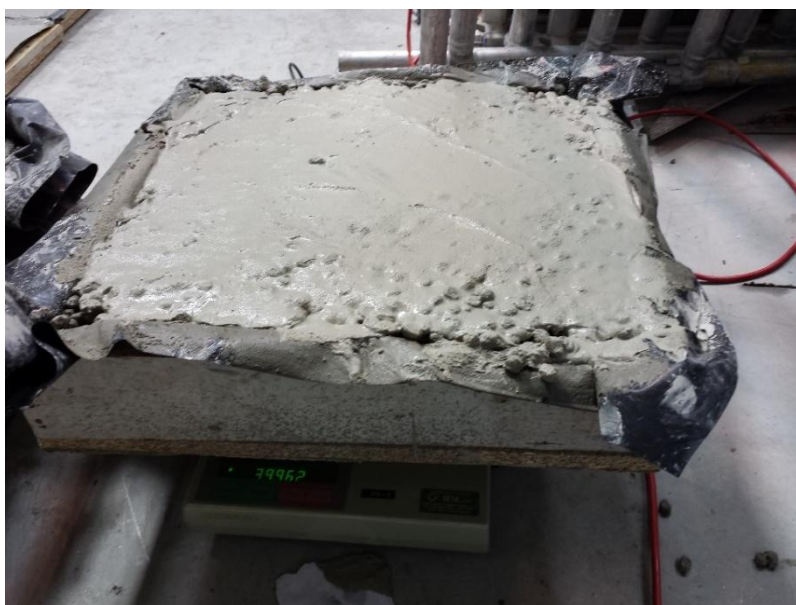


Fig. 35 – Pesagem da caixa e material

Desde o sétimo dia que foram cortadas e pesadas semanalmente amostras de forma a determinar o seu teor de humidade através do método gravimétrico. Todas as tinas foram pesadas antes de serem colocadas as amostras no seu interior, e depois, o material foi pesado conjuntamente com a tina (Fig. 36). Desta forma, é possível subtrair a massa do recipiente e assim obter apenas a massa da amostra. Foram deixadas a secar durante uma semana, finda essa semana forem efetuadas pesagens num dia e passadas 24 horas foram pesadas de novo, se estas pesagens tivessem uma variação da sua massa inferior a 0,1% considerava-se que a amostra estaria seca.

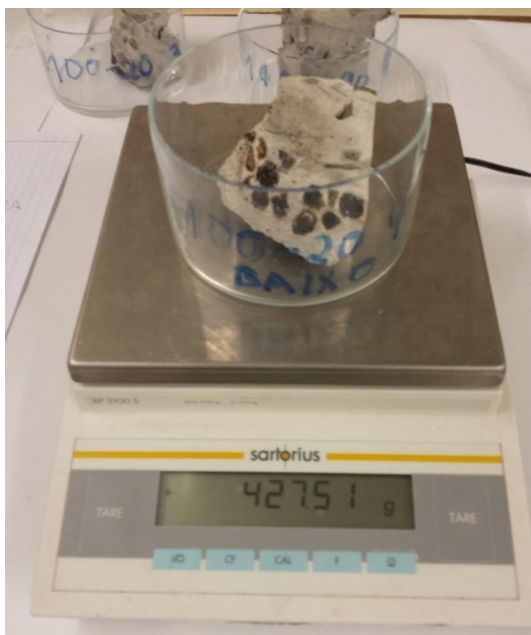


Fig. 36 – Amostra a ser pesada na balança antes de ser colocada na estufa

A Fig. 37 representa um gráfico com a variação da temperatura e humidade relativa no local onde os provetes ficaram a secar, desta forma é possível analisar que a temperatura média se manteve entre 20 e 25°C, ou seja superior à temperatura da câmara e que a humidade relativa média se manteve em cerca de 50%, ou seja, um valor muito inferior aos 80% a que as amostras mantidas na câmara estavam sujeitas..

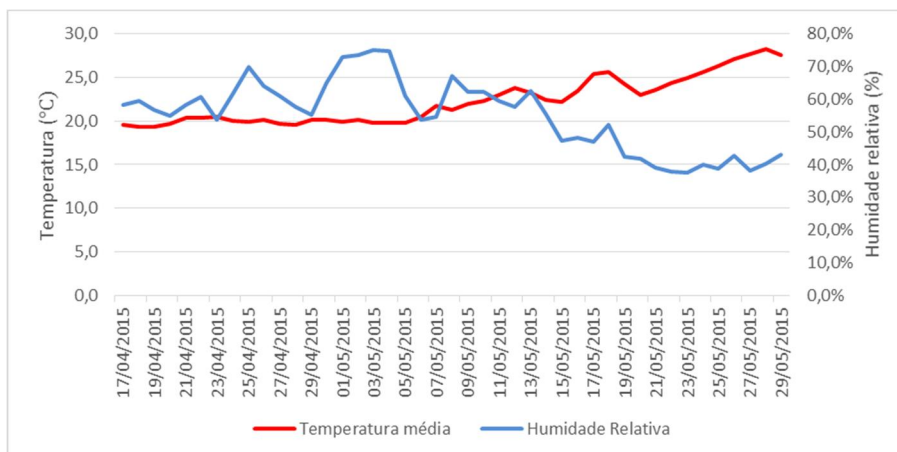


Fig. 37 – Variação da temperatura e humidade relativa

## 5

## RESULTADOS

## 5.1. ENQUADRAMENTO

São apresentados neste capítulo os resultados dos ensaios de avaliação por pesagem global, avaliação por secagem de amostras e avaliação com dispositivos de medição de humidade apresentados no capítulo 4.3.1.

A segunda parte deste capítulo é dedicada à comparação dos valores dos aparelhos com o método gravimétrico de forma a perceber a fiabilidade de cada método. A última parte deste capítulo é dedicada à análise dos resultados, verificando as diferenças entre as medições.

## 5.2. MASSA VOLÚMICA

Para o fabrico do betão leve foram cumpridas, de forma exata, as quantidades de material necessárias para que umas amostras possuíssem uma massa volúmica de  $550 \text{ kg/m}^3$ , e outras, uma massa volúmica de  $1100 \text{ kg/m}^3$ . Para verificar se o betão leve fabricado tinha realmente a massa volúmica esperada foi realizado um ensaio de pesagem e medição do volume.

Foram utilizadas duas amostras, com a forma mais perfeita, para que fosse mais exata a medição do volume, tendo sempre em conta que não é possível com uma fita métrica medir o volume de uma superfície rugosa com exatidão.

A Tabela 18 apresenta as dimensões das duas amostras, a sua massa e por fim a massa volúmica correspondente.

Tabela 18 – Medição de massa volúmica das amostras de betão leve

Provete	Largura (m)	Altura (m)	Espessura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Massa do material seco (kg)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )
1100-20	0,07	0,06	0,035	0,000147	0,149	1013
550-20	0,06	0,06	0,053	0,000191	0,113	589

Verificou-se que a massa volúmica calculada é muito próxima da massa volúmica pretendida sendo ligeiramente maior na amostra de 550 e ligeiramente inferior na amostra de 1100. A diferença pode dever-se à imprecisão que existe na medição do volume ou ao facto de o betão leve não ser completamente uniforme na sua distribuição.

### 5.3. AVALIAÇÃO POR PESAGEM GLOBAL

A tabela, existente no Anexo A, apresenta a evolução das massas em gramas das amostras excluindo a massa das caixas de madeira.

Os gráficos seguintes são uma representação gráfica da tabela A. A Fig. 38 representa a evolução da massa de todos os provetes.

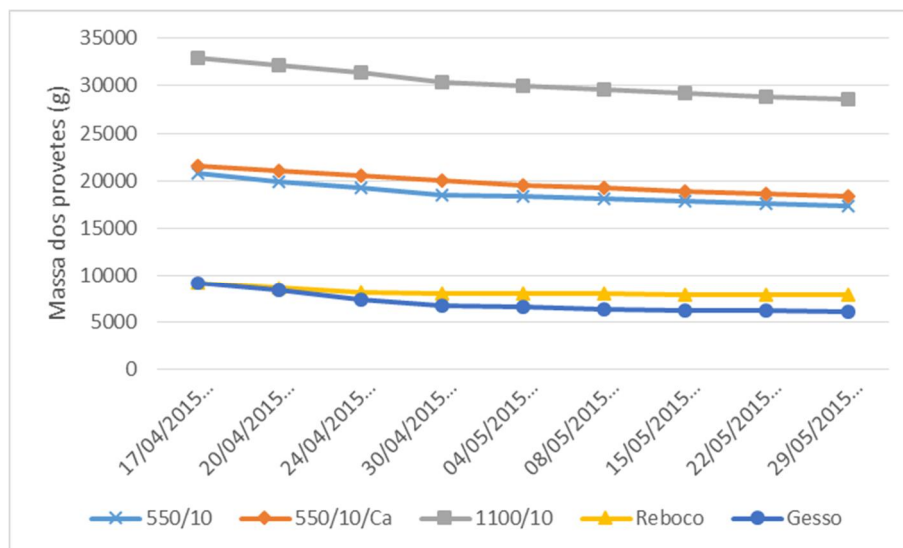


Fig. 38 – Evolução da massa dos provetes

Na Fig. 39 é possível verificar que a percentagem de massa perdida ao longo do tempo, nos betões leves e o gesso expostos à temperatura e humidade relativa ambiente a partir do dia 13, reduziram a taxa de perda de massa. O reboco ao dia 7 já tinha reduzido esta taxa e o betão leve, mantido na câmara, manteve a sua perda de massa quase constante. É também de realçar que o gesso perdeu uma quantidade muito maior de água que o resto das amostras.

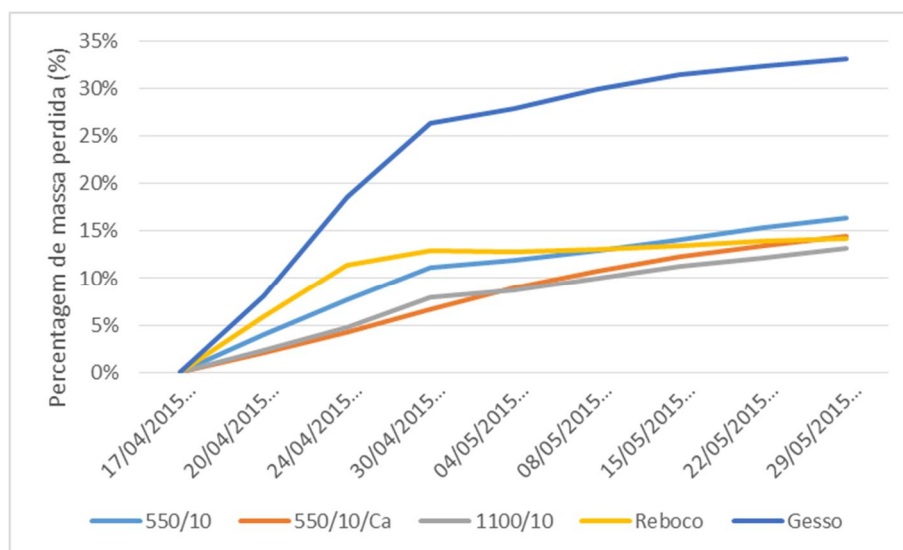


Fig. 39 – Percentagem de massa perdida ao longo do tempo

#### 5.4. AVALIAÇÃO POR PESAGEM DE AMOSTRAS

As tabelas presentes no Anexo B correspondem, respetivamente, à primeira, segunda, terceira, quarta, quinta e sexta pesagem das amostras. Representam a massa quando retiradas as amostras, a massa das mesmas após secagem em estufa, a massa perdida em água e com estes dados foi calculado o teor de humidade seco de cada camada de 5 cm.

Estão representados desde a Fig. 40 até à Fig. 44 os gráficos correspondentes às tabelas do Anexo B. A Fig. 45 é um gráfico que compara o teor de humidade médio das várias camadas dos vários materiais.

O teor de humidade da amostra 1100-10 (Fig. 40) teve o comportamento esperado. A camada superior apresenta um teor de humidade no início do ensaio devido à água que fica acumulada na superfície quando se efetua a betonagem e depois inicia a secagem rapidamente. Por se tratar da camada em contacto com o ar, na quarta medição já é verificado um teor de humidade cerca de 5% abaixo da camada inferior da amostra. O fenómeno de percolação da água líquida pode ter influenciado a amostra e por isso se ter dado uma mudança tão rápida se camada mais húmida.

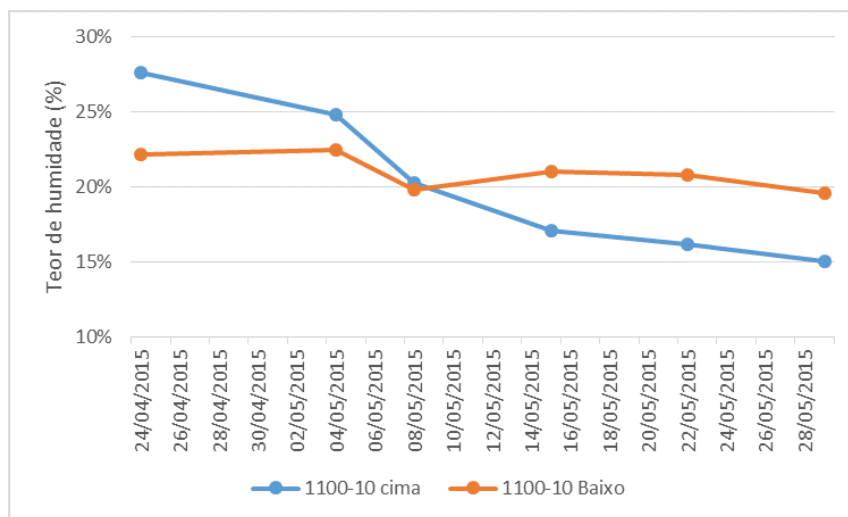


Fig. 40 – Teor de humidade de amostra 1100-10 por camada de 5cm

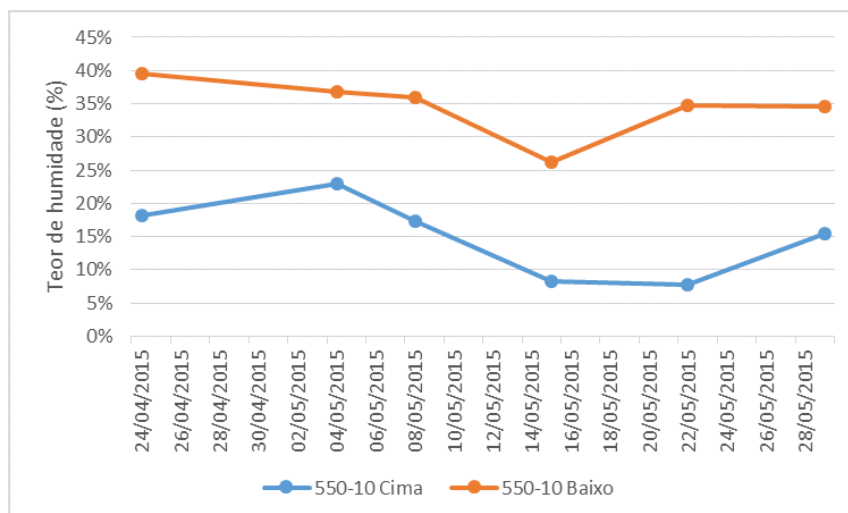


Fig. 41 – Teor de humidade de amostra 550-10 por camada de 5cm



A amostra 1100-20 (Fig. 42), como é uma amostra com grande espessura a água deposita-se por percolação fundo, obtendo-se, desde o início, um teor de humidade mais baixo na camada superior. A amostra retirada dia 22 de Maio difere das outras porque a humidade estava depositada no fundo da amostra e a superfície em contacto com o ar estava muito seca, mas observando a média das camadas, o teor de humidade mantém-se relativamente constante.

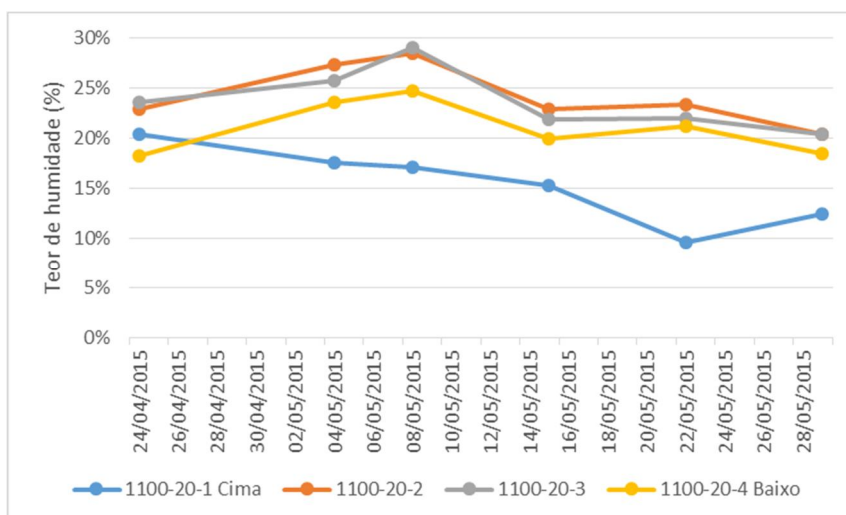


Fig. 42 - Teor de humidade de amostra 1100-20 por camada de 5cm

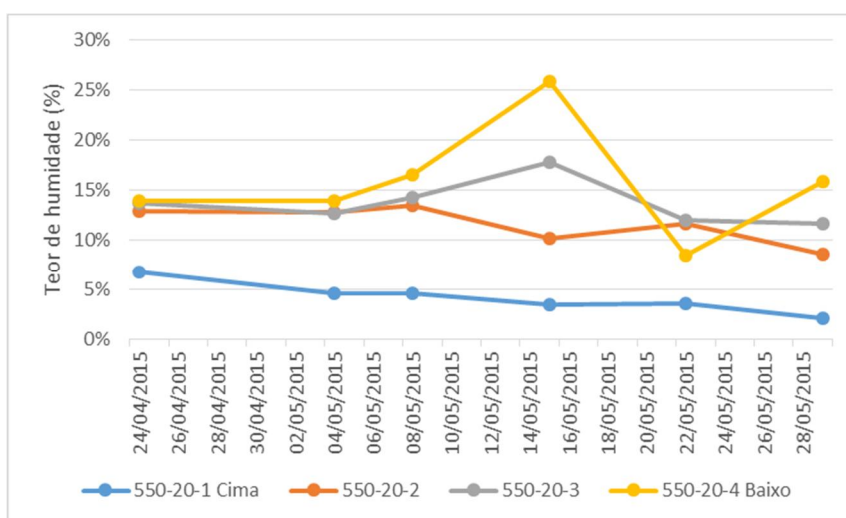


Fig. 43 - Teor de humidade de amostra 550-20 por camada de 5cm

A amostra de reboco (Fig. 44) secou muito pouco sendo quase impercetível a sua evolução. A pouca humidade existente nas medições deve-se à reduzida espessura da amostra e à pequena quantidade de água necessária para hidratar a amostra.

A secagem do gesso não está representada porque devido a factos que não foram possíveis determinar os valores do teor de humidade não correspondiam a um valor considerado possível de ser verdadeiro.



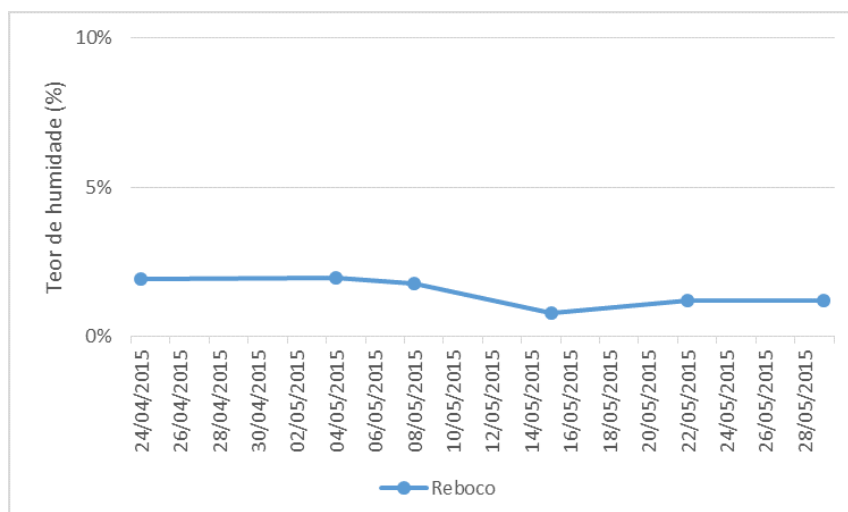


Fig. 44 – Teor de humidade de amostra de reboco

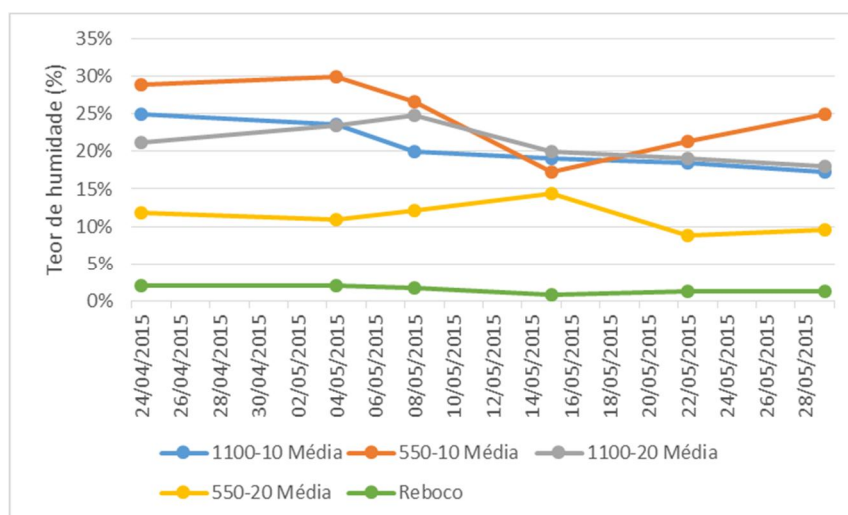


Fig. 45 – Comparação de teor de humidade médio de todas as amostras

## 5.5. AVALIAÇÃO COM DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO DE HUMIDADE

Os equipamentos utilizados para a medição da humidade foram a sonda de humidade relativa, o Protimeter, o CEBTP e o TRAMEX com sensibilidade 5 e 7.

As medições com o equipamento Protimeter (Fig. 46) foram sempre consistentes e de acordo com o esperado. Da primeira para a segunda medição o gesso e o reboco já se encontravam quase secos. Passadas duas semanas seguiram-se o betão 550-10 devido à sua espessura e menor quantidade de água, na semana seguinte estavam secos superficialmente o betão leve 1100-10 e o betão 550-20. Ficando assim por secar as amostras de que se encontravam dentro da câmara e a amostra 1100-20, que apesar de ter começado a secar não chegou ao ponto considerado seco segundo o manual do aparelho.

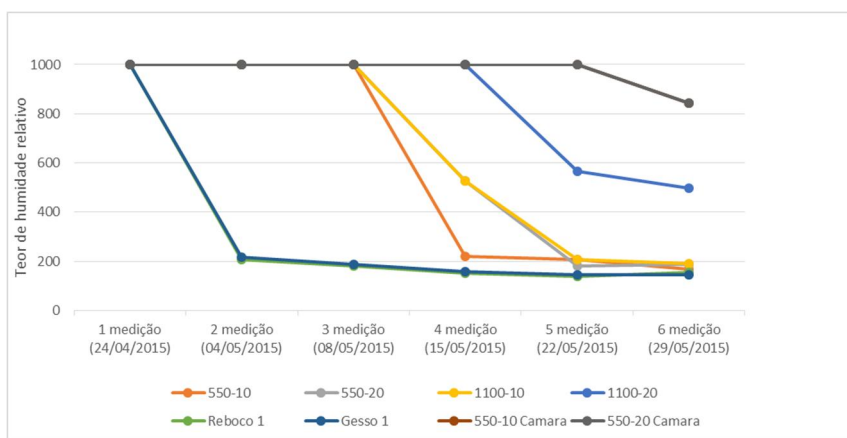


Fig. 46 – Medição do teor de humidade relativo com o equipamento Protimeter

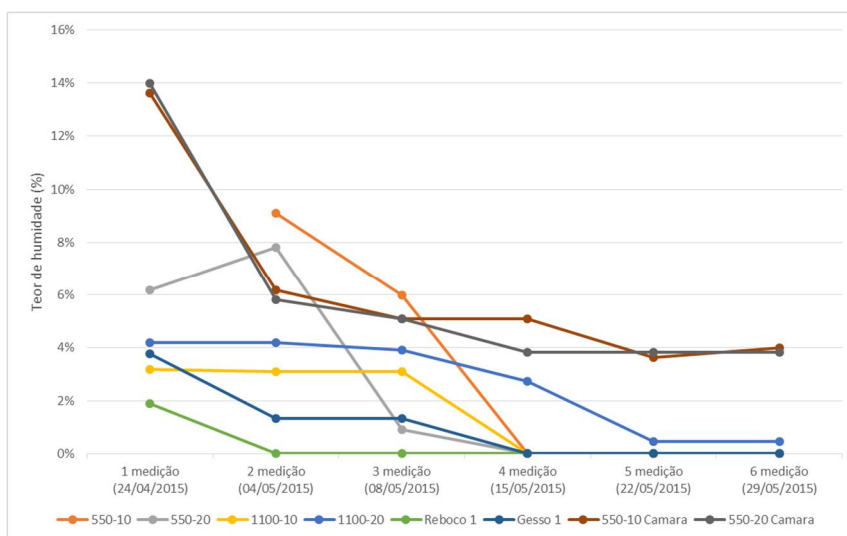


Fig. 47 – Medição do teor de humidade relativo com o equipamento CEBTP

O aparelho Tramex (Fig. 48) utilizando sensibilidade 5 indicou que o gesso e o reboco já estariam secos ao fim de 4 semanas, todo o resto dos materiais apresentavam a leitura máxima de 100. Após

uma semana o betão leve 550-10 já só apresentava 50 na escala do aparelho mantendo-se assim mais uma semana.

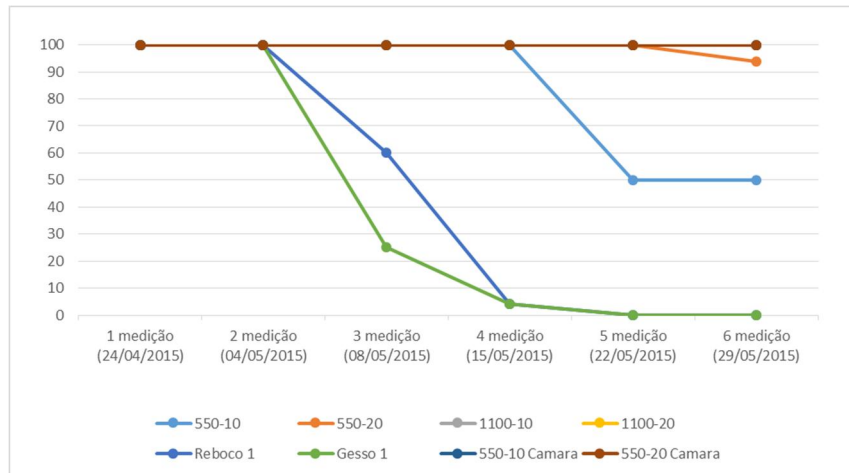


Fig. 48 – Medição humidade com o equipamento Tramex com sensibilidade 5

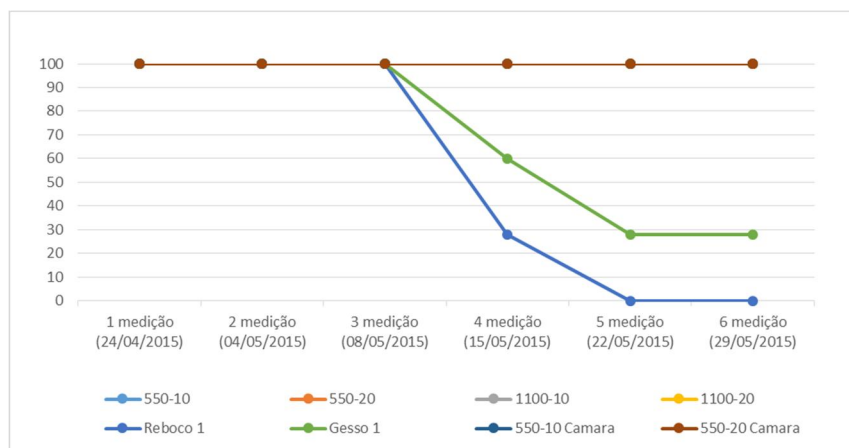


Fig. 49 – Medição humidade com o equipamento Tramex com sensibilidade 7

A sonda de humidade relativa apresentou o valor de 100% para todos os materiais até à 4ª medição e apenas o betão leve 550-10 para quase 90% na sexta medição.

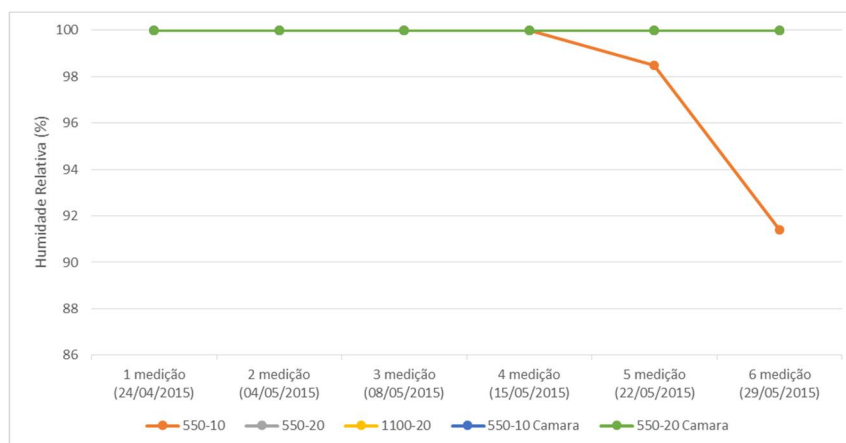


Fig. 50 – Medição humidade relativa através de sonda

## 5.6. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS GRAVIMÉTRICOS VS MEDIÇÃO COM HUMIDÍMETROS

Como as amostras globais nunca foram completamente secas numa estufa, não foi possível obter o teor de humidade das mesmas. Para chegar a um valor mais próximo da realidade, foi assumido que as amostras parciais e totais tinham o teor de humidade mais próximo no momento da primeira medição, ou seja, considerou-se que nessa medição, amostras parciais e totais, tinham o mesmo teor de humidade. Por conseguinte foi possível calcular o valor do teor de humidade das restantes pesagens globais.

Os gráficos apresentados desde a Fig. 51 até à Fig. 57 representam a comparação dos resultados obtidos a partir dos métodos gravimétricos assim como dos aparelhos de medição.

As pesagens apresentam valores de teor de humidade muito díspares mas é possível verificar que na amostra 550-10 (Fig. 51) a quarta medição foi o ponto onde os teores de humidade baixaram mais rapidamente. O teor de humidade segundo o aparelho CEBTP é 0%, na quarta medição, sendo um valor demasiado baixo. O aparelho Protimeter indica que o material está também seco na quarta pesagem. A diferença de teores de humidade deve-se provavelmente ao facto do método gravimétrico analisar a humidade em toda a profundidade e os aparelhos apenas analisarem alguns centímetros de profundidade.

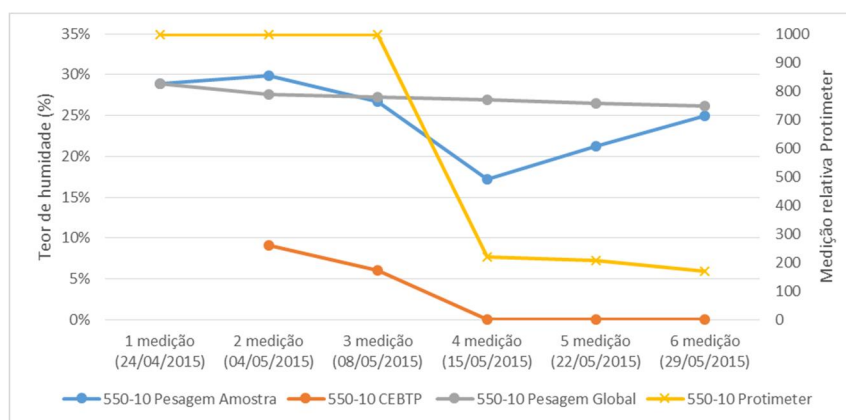


Fig. 51 – Comparação de resultados do betão leve 550-10

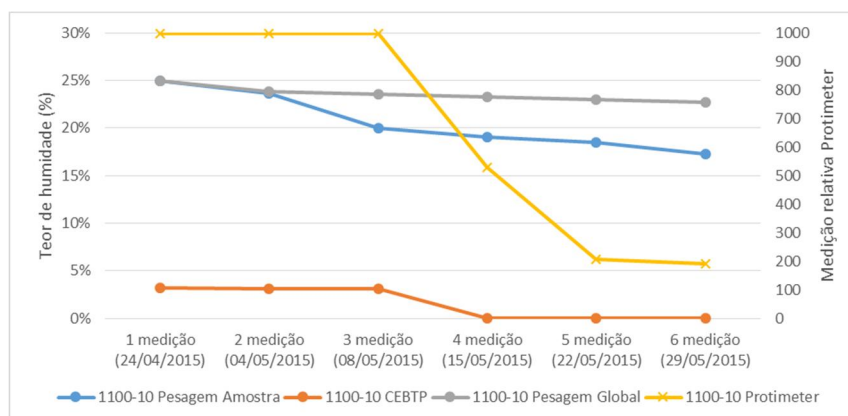


Fig. 52 – Comparação de resultados do betão leve 1100-10

Nas amostras com espessura de 20 cm, a diferença do valor do teor de humidade entre métodos gravimétricos e aparelhos é ainda maior pois a humidade superficial desaparece muito rapidamente e a humidade em profundidade demora mais tempo a desaparecer. Daí o aparelho CEBTP indicar que o material estaria seco ao fim da terceira medição e o método gravimétrico apresentar resultados que indicam que o material ainda estaria húmido nessa medição.

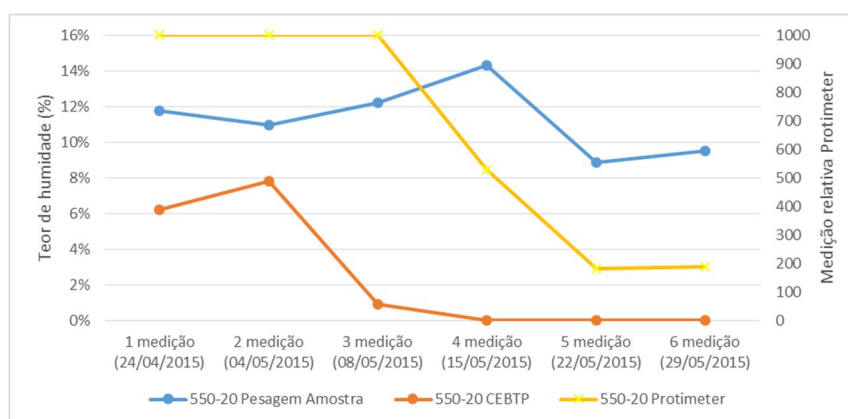


Fig. 53 – Comparação de resultados do betão leve 550-20

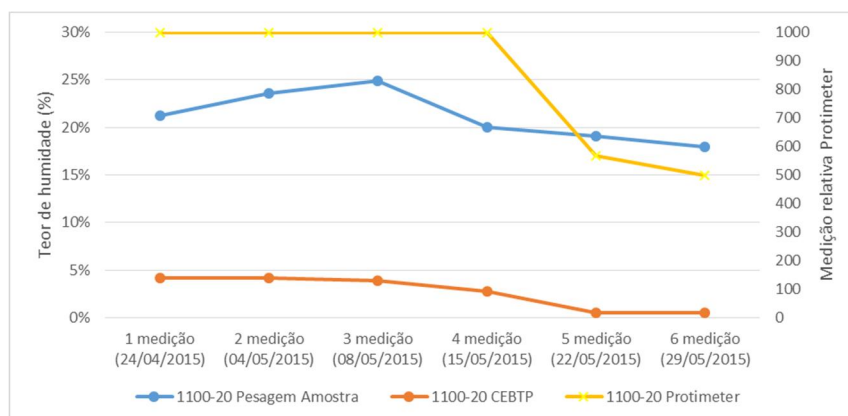


Fig. 54 – Comparação de resultados do betão leve 1100-20

O betão leve 550-10-Ca (Fig. 55) assim como o betão leve 1100-20-Ca (Fig. 56) apresentam secagens lentas, quer segundo com o aparelho Protimeter, quer com o método gravímtrico, apresentando uma secagens pouco significativas em ambos métodos até à conclusão do ensaio.

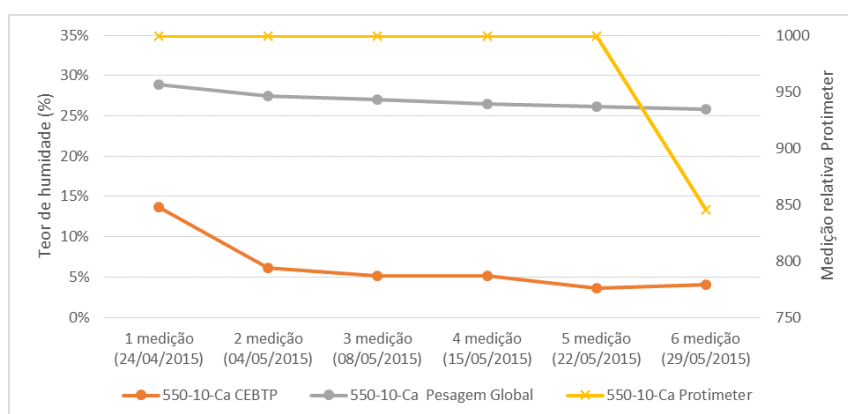


Fig. 55 – Comparação de resultados do betão leve 550-10-Ca

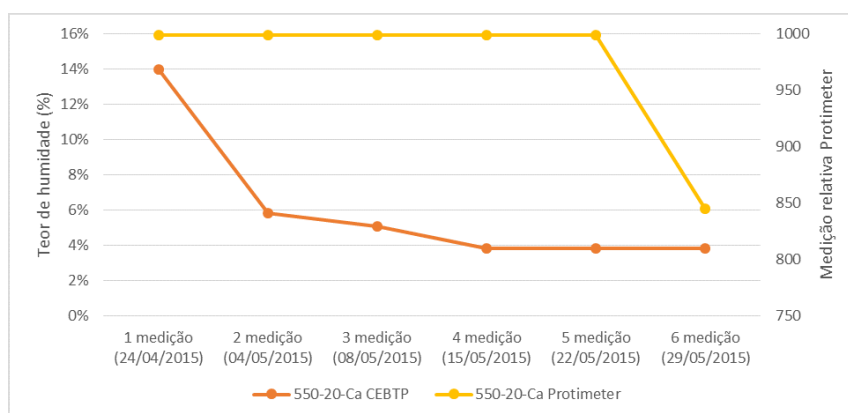


Fig. 56 – Comparação de resultados do betão leve 550-20-Ca

O reboco (Fig. 57) é o material com o teor de humidade mais baixo, podendo considerar-se que este se apresentava seco segundo os aparelhos logo após a segunda semana, e segundo o método gravimétrico após quatro medições.

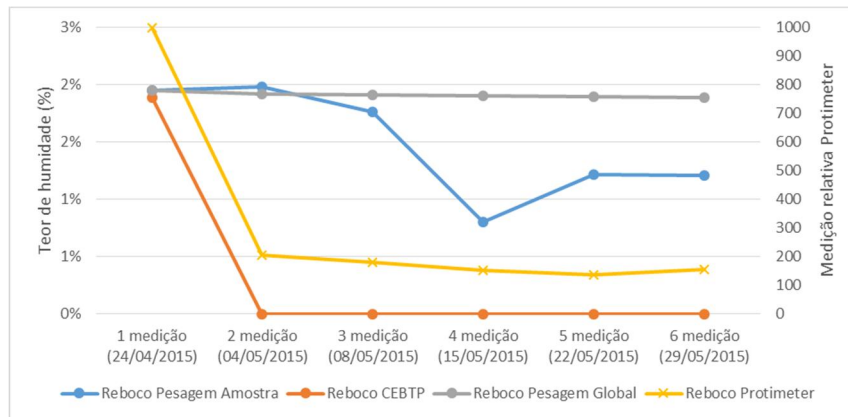


Fig. 57 – Comparação de resultados do Reboco

Analisando os resultados é possível concluir que o equipamento com resultados mais consistentes é o protímetro porque nunca apresenta resultados contraditórios.

## 5.7. ANÁLISE DE RESULTADOS

A medição efetuada, com o método gravimétrico parcial, contém muitas vezes picos onde o teor de humidade é muito mais alto ou mais baixo que o resto das medições. Esta discrepância de valores pode dever-se ao facto das amostras provirem de várias zonas dos provetes e como o betão leve não foi vibrado a água pode não ter ficado distribuída de forma uniforme nos provetes. As duas últimas amostras continham um teor de humidade mais alto que o esperado por não ser possível a perda desta lateralmente, o que não acontece nos cantos, pois mesmo tendo a barreira em plástico impermeável existe sempre uma perda de humidade associada ao descolamento da barreira.

Existe uma grande diferença entre o teor de humidade medido a partir dos aparelhos e o do método gravimétrico pois este último analisa a humidade em profundidade.

A medição, utilizando a sonda de humidade relativa, indicou 100% de humidade relativa para todas as amostras, durante todo o ensaio, sendo a amostra 550-10 a única exceção, atingindo o valor de 91% na última medição. Perante estes dados é possível concluir que todos os provetes analisados ainda estariam húmidos demais para receber um novo material na sua superfície.

Após a análise dos gráficos de todos os materiais verifica-se a completa secagem de dois dos materiais estudados, o gesso e o reboco, que atingiram o estado de equilíbrio com a humidade relativa do ar até ao final do ensaio. A amostra 550-10 atingiu um teor de humidade muito próximo do aceitável.

Segundo os tempos estimados de secagem apresentados no capítulo 3.3, seria necessário mais um a dois meses, no mínimo, para que a secagem estivesse completa. Os autores mais conservadores aconselham tempos de secagem mais longos, podendo atingir mais três a quatro meses de secagem em condições ambientais não controladas. As amostras no interior da câmara poderiam demorar ainda bastantes meses a secar, visto estarem sujeitos a um ambiente de elevada humidade relativa (80%).





# 6

## CONCLUSÕES

Com a conclusão deste trabalho pode ser considerado que todos os objetivos propostos foram cumpridos. Foram efetuados todos os ensaios para análise de teores de humidade, humidade relativa e medições relativas de forma a definir, com maior exatidão, a humidade no material.

Verificou-se a existência de poucas entidades que indicam prazos de secagem do betão leve, mesmo este sendo um material muito utilizado na construção. Como consequência de um tempo de espera desadequado, aumentam os custos de construção (secagens demasiado longas) ou de manutenção destas (secagens demasiado curtas). Seria, portanto, importante a criação de um catálogo com as variáveis presentes na construção onde fossem indicados prazos de secagem dos materiais mais importantes para o avanço das fases da construção.

O tempo para a conclusão deste projeto foi demasiado curto, sendo ainda necessários mais meses de análise até que todas as amostras apresentassem teores de humidade em profundidade iguais ao teor de humidade superficial, indicando assim que o material estaria seco.

A utilização de vários equipamentos permitiu perceber as desvantagens de cada um destes e compreender o porquê de existirem tantos erros associados aos mesmos. Mostrou igualmente a necessidade de uma análise baseada em mais do que um equipamento para resultados mais reais.

Os métodos não gravimétricos mostraram-se adequados apenas para espessuras reduzidas. O protimeter não apresentou nenhum resultado inconsistente e por isso provou ser um ótimo equipamento para controle de humidade em obra por ser rápido e prático de usar. O aparelho CEBTP não funcionou como deveria, muito provavelmente porque não existia uma curva de calibração. A utilização de uma sonda de humidade relativa pode ser um ótimo método para verificar se a humidade relativa do material já se encontra em estado equilíbrio com a humidade relativa do ambiente, significando isso que o material não irá secar mais. Esta medição com a sonda de humidade relativa pode ser realizada em contínuo, e se utilizada em conjunto com o método gravimétrico podem apresentar resultados muito fiáveis sem necessidade de se efetuar muitas extrações de amostras.

Com o decorrer dos ensaios verificou-se que era muito difícil garantir que não existiam perdas de humidade através das superfícies laterais quando eram efetuados os cortes dos provetes. A forma mais fácil e com maior fiabilidade devia ter sido a utilização de pequenos provetes que pudessem ser secadas na estufa, eliminando assim todos os erros que podem ter sido associados a esta escolha de dimensões. Por outro lado a utilização de uma grande amostra foi mais realista e o facto de ter que cortar as amostras foi bastante enriquecedor para uma melhor perceção das dificuldades associadas a cada método.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM (2012) - Standard Test Method for Indicating Moisture in Concrete by the Plastic Sheet Method. ASTM.
- CARVALHO, Patrícia (2010) - Medição do teor de humidade em materiais de construção. Porto: [s. n.].
- CASTRO, José Manuel Ferreira de (1998) - Estudo experimental da secagem do betão celular. Porto: [s.n.].
- CFI - CFI Wood / Laminate STUDY GUIDE [Em linha]. [Consult. 30/03/2015]. Disponível em WWW: <URL: [http://www.cfiinstallers.com/pdf\\_stuff/CFI\\_WoodLam\\_SGEN.pdf](http://www.cfiinstallers.com/pdf_stuff/CFI_WoodLam_SGEN.pdf)>.
- COSTA, Maria de Lurdes Belgas da (2011) - Caracterização das Propriedades Físicas, Mecânicas e Térmicas de Betões com Incorporação de Cortiça. Universidade de Coimbra.
- CUNNINGHAM, Malcolm (2008) - When is a concrete slab dry enough? BUILD.
- DELCELIER, Pierre (1989) - Transferts de vapeur. Centre scientifique et technique du bâtiment.
- ELKINK, Alide (2009) - When Is a concrete floor slab dry?
- FREITAS, Vasco Manuel Araújo Peixoto de (1992) - Transferência de humidade em paredes de edifícios análise do fenómeno de interface. Porto: [s. n.].
- (2008) - Humidade ascensional. Porto: FEUP Edições. ISBN 978-972-752-101-2.
- FREITAS, Vasco Manuel Araújo Peixoto de; PINTO, Paulo da Silva (2000) - Permeabilidade ao vapor de materiais de construção condensações internas. Porto: Laboratório de Física das Construções. Faculdade de Engenharia. ISBN 972-752-029-4.
- HARRISON, Patrick J. [et al.] (2006) - Guide for Concrete Slabs that Receive Moisture Sensitive Flooring Materials - ACI 302.2R-06. Concrete international [Em linha]. 42.
- HEDENBLAD, G (1998) - Concrete Drying Time—Predict concrete drying times before placing floor coverings. Concrete Technology Today, PL982, Portland Cement Association [Em linha]. 19:
- HEDENBLAD, Göran (1987) - Effect of soluble salt on the sorption isotherm. Report TVBM [Em linha]. ISSN 0348-7911.
- ISO, International Organization for Standardization (2007) - Hygrothermal performance of buildings and building materials Documento electrónico. Geneva:: ISO.
- KANARE, Howard M (2005) - Concrete floors and moisture. Portland Cement Association.
- KIELSGAARD-HANSEN, Kurt (1986) - Sorption isotherms: a catalogue. Technical University of Denmark.
- LANZINHA, João Carlos Gonçalves (1998) - Propriedades higrotérmicas de materiais de construção Documento electrónico. Porto.: FEUP-Departamento de Engenharia Civil.
- LOPES, Elizabeth Montefusco (2004) - A influência da umidade do substrato no desempenho de revestimentos de piso de edifícios. Universidade de São Paulo.
- MARINHO, Mariana Isabel Matos (2014) - Diagnóstico de patologias associadas à humidade utilizando técnicas não destrutivas. Porto: FEUP. 1 CD-ROM (160 p.)-1 CD-ROM (160 p.) p.
- MARQUES, Maria Isabel Eusébio; RODRIGUES, Maria Paula MC (1991) - Revestimento por pintura para a construção civil: preparação de superfícies. ISBN 9724914062.
- NASCIMENTO, José Martins do (1995) - Bases de assentamento de revestimentos de piso resilientes. ISBN 9724916731.
- RADU, Adrian [et al.] (2012) - Heat, air and moisture transfer terminology-parameters and concepts. [Em linha].
- RAMOS, Nuno Manuel Monteiro (2000) - Modelação da variação da humidade relativa no interior dos edifícios. Porto: FEUP.
- RFCI - Adressing Moisture Related Problems Relant to Resilient Floor Coverings Installed Over Concrete [Em linha]. [Consult. 30/03/2015]. Disponível em WWW: <URL: <http://rfci.com/wordpress/wp-content/uploads/2013/06/rfci-mrp-moisture-related-problems.pdf>>.
- TADA, Shinsaku (2006) - Simultaneous determination of sorption isotherm and water diffusivity of autoclaved aerated concrete. [Em linha].



## **Anexos**

Anexo A

Anexo B

Anexo C



# Anexo A

Pesagem dos provetes subtraído o peso das caixas

Proвете	17/04/ 2015 Dia 0 [g]	20/04/ 2015 Dia 3 [g]	24/04/ 2015 Dia 7 [g]	30/04/ 2015 Dia 13 [g]	04/05/ 2015 Dia 17 [g]	08/05/ 2015 Dia 21 [g]	15/05/ 2015 Dia 28 [g]	22/05/ 2015 Dia 35 [g]	29/05/ 2015 Dia 42 [g]
550/10	20800	19958	19211	18471	18317	18103	17868	17596	17384
550/10/Ca	21495	21040	20574	20066	19558	19192	18852	18611	18372
1100/10	32923	32164	31349	30319	30043	29647	29230	28901	28598
Reboco	9165	8628	8120	7976	7996	7964	7927	7888	7865
Gesso	9096	8362	7403	6704	6564	6369	6237	6156	6084





## Anexo B

1ª Pesagem [24/04/2015]				
Provete	Massa da amostra após corte [g]	Massa da amostra após secagem em estufa [g]	Massa de água [g]	Teor de humidade
1100-10 Cima	197,53	154,74	42,79	27,65%
1100-10 Baixo	227,3	186,05	41,25	22,17%
550-10 Cima	138,01	116,74	21,27	18,22%
550-10 Baixo	181,04	129,67	51,37	39,62%
1100-20-1 Cima	212,05	176,21	35,84	20,34%
1100-20-2	189,12	153,93	35,19	22,86%
1100-20-3	140,89	114,01	26,88	23,58%
1100-20-4 Baixo	230,46	194,94	35,52	18,22%
550-20-1 Cima	93,82	87,92	5,9	6,71%
550-20-2	64,04	56,75	7,29	12,85%
550-20-3	32,62	28,71	3,91	13,62%
550-20-4 Baixo	35,02	30,75	4,27	13,89%
Reboco	50,17	49,21	0,96	1,95%

2ª Pesagem [04/05/2015]				
Provete	Massa da amostra após corte [g]	Massa da amostra após secagem em estufa [g]	Massa de água [g]	Teor de humidade
1100-10 Cima	188,46	150,96	37,50	24,84%
1100-10 Baixo	236,31	192,92	43,39	22,49%
550-10 Cima	136,47	110,94	25,53	23,01%
550-10 Baixo	161,92	118,36	43,56	36,80%
1100-20-1 Cima	166,30	141,46	24,84	17,56%
1100-20-2	163,93	128,79	35,14	27,28%
1100-20-3	230,48	183,32	47,16	25,73%
1100-20-4 Baixo	300,41	243,09	57,32	23,58%
550-20-1 Cima	117,53	112,39	5,14	4,57%
550-20-2	59,04	52,35	6,69	12,78%
550-20-3	38,43	34,12	4,31	12,63%
550-20-4 Baixo	32,14	28,22	3,92	13,89%
Reboco	98,62	96,70	1,92	1,99%

3ª Pesagem [08/05/2015]				
Provete	Massa da amostra após corte [g]	Massa da amostra após secagem em estufa [g]	Massa de água [g]	Teor de humidade
1100-10 Cima	196,95	163,79	33,16	20,25%
1100-10 Baixo	190,98	159,40	31,58	19,81%
550-10 Cima	114,70	97,74	16,96	17,35%
550-10 Baixo	153,84	113,15	40,69	35,96%
1100-20-1 Cima	158,31	135,21	23,10	17,08%
1100-20-2	134,48	104,65	29,83	28,50%
1100-20-3	221,70	171,79	49,91	29,05%
1100-20-4 Baixo	185,90	149,01	36,89	24,76%
550-20-1 Cima	101,14	96,76	4,38	4,53%
550-20-2	38,27	33,72	4,55	13,49%
550-20-3	24,72	21,64	3,08	14,23%
550-20-4 Baixo	16,75	14,38	2,37	16,48%
Reboco	63,51	62,41	1,10	1,76%

4ª Pesagem [15/05/2015]				
Provete	Massa da amostra após corte [g]	Massa da amostra após secagem em estufa [g]	Massa de água [g]	Teor de humidade
1100-10 Cima	227,08	193,91	33,17	17,11%
1100-10 Baixo	286,54	236,71	49,83	21,05%
550-10 Cima	188,65	174,32	14,33	8,22%
550-10 Baixo	88,95	70,48	18,47	26,21%
1100-20-1 Cima	281,78	244,53	37,25	15,23%
1100-20-2	256,31	208,62	47,69	22,86%
1100-20-3	274,67	225,41	49,26	21,85%
1100-20-4 Baixo	258,81	215,78	43,03	19,94%
550-20-1 Cima	154,49	149,36	5,13	3,43%
550-20-2	60,21	54,64	5,57	10,19%
550-20-3	152,47	129,46	23,01	17,77%
550-20-4 Baixo	242,90	192,98	49,92	25,87%
Reboco	62,76	62,26	0,50	0,80%

5ª Pesagem [22/05/2015]				
Provete	Massa da amostra após corte [g]	Massa da amostra após secagem em estufa [g]	Massa de água [g]	Teor de humidade
1100-10 Cima	264,11	227,32	36,79	16,18%
1100-10 Baixo	310,94	257,50	53,44	20,75%
550-10 Cima	215,60	199,99	15,61	7,81%
550-10 Baixo	229,06	170,00	59,06	34,74%
1100-20-1 Cima	212,64	194,09	18,55	9,56%
1100-20-2	302,31	245,03	57,28	23,38%
1100-20-3	294,83	241,61	53,22	22,03%
1100-20-4 Baixo	341,27	281,59	59,68	21,19%
550-20-1 Cima	171,95	166,15	5,80	3,49%
550-20-2	104,41	93,56	10,85	11,60%
550-20-3	88,98	79,51	9,47	11,91%
550-20-4 Baixo	63,10	58,20	4,90	8,42%
Reboco	60,00	59,28	0,72	1,21%

6ª Pesagem [29/05/2015]				
Provete	Massa da amostra após corte [g]	Massa da amostra após secagem em estufa [g]	Massa de água [g]	Teor de humidade
1100-10 Cima	333,84	290,30	43,54	15,00%
1100-10 Baixo	346,38	289,77	56,61	19,54%
550-10 Cima	256,13	222,01	34,12	15,37%
550-10 Baixo	181,16	134,57	46,59	34,62%
1100-20-1 Cima	297,12	264,28	32,84	12,43%
1100-20-2	210,94	175,14	35,80	20,44%
1100-20-3	194,04	161,10	32,94	20,45%
1100-20-4 Baixo	275,95	232,93	43,02	18,47%
550-20-1 Cima	138,31	135,48	2,83	2,09%
550-20-2	94,10	86,70	7,40	8,54%
550-20-3	88,17	79,01	9,16	11,59%
550-20-4 Baixo	115,39	99,63	15,76	15,82%
Reboco	62,08	61,34	0,74	1,21%

## Anexo C

### 1ª Medição utilizando os aparelhos

1ª Medição (24/04/2015)					
Provete	Sonda de Humidade Relativa [%]	Protimeter	CEBTP (MX-HU)	TRAMEX	
				Sensibilidade 5	Sensibilidade 7
550-10	100	999	148	100	100
550-20	100	999	171	100	100
1100-10	100	999	170	100	100
1100-20	100	999	164	100	100
Reboco	100	999	180	100	100
Gesso	100	999	172	100	100
550-10 Câmara	100	999	157	100	100
550-20 Câmara	100	999	156	100	100

### 2ª Medição utilizando os aparelhos

2ª Medição (04/05/2015)					
Provete	Sonda de Humidade Relativa [%]	Protimeter	CEBTP (MX-HU)	TRAMEX	
				Sensibilidade 5	Sensibilidade 7
550-10	100	999	163	100	100
550-20	100	999	167	100	100
1100-10	-	999	172	100	100
1100-20	100	999	164	100	100
Reboco	-	207	191	100	100
Gesso	-	217	186	100	100
550-10 Câmara	100	999	170	100	100
550-20 Câmara	100	999	172	100	100

## 3ª Medição utilizando os aparelhos

3ª Medição (08/05/2015)					
Provete	Sonda de Humidade Relativa [%]	Protimeter	CEBTP (MX-HU)	TRAMEX	
				Sensibilidade 5	Sensibilidade 7
550-10	100	999	173	100	100
550-20	100	999	185	100	100
1100-10	-	999	171	100	100
1100-20	100	999	166	100	100
Reboco	-	182	192	60	100
Gesso	-	187	188	25	100
550-10 Câmara	100	999	175	100	100
550-20 Câmara	100	999	185	100	100

## 4ª Medição utilizando os aparelhos

4ª Medição (15/05/2015)					
Provete	Sonda de Humidade Relativa [%]	Protimeter	CEBTP (MX-HU)	TRAMEX	
				Sensibilidade 5	Sensibilidade 7
550-10	100	220	186	100	100
550-20	100	528	188	100	100
1100-10	-	528	186	100	100
1100-20	100	999	174	100	100
Reboco	-	153	194	4	28
Gesso	-	157	191	4	60
550-10 Câmara	100	999	176	100	100
550-20 Câmara	100	999	178	100	100

## 5ª Medição utilizando os aparelhos

5ª Medição (22/05/2015)					
Provete	Sonda de Humidade Relativa [%]	Protimeter	CEBTP (MX-HU)	TRAMEX	
				Sensibilidade 5	Sensibilidade 7
550-10	98,5	208	188	50	100
550-20	100	182	192	100	100
1100-10	-	207	188	100	100
1100-20	100	566	185	100	100
Reboco	-	138	194	0	0
Gesso	-	146	191	0	28
550-10 Câmara	100	999	180	100	100
550-20 Câmara	100	999	178	100	100

## 6ª Medição utilizando os aparelhos

6ª Medição (29/05/2015)					
Provete	Sonda de Humidade Relativa [%]	Protimeter	CEBTP (MX-HU)	TRAMEX	
				Sensibilidade 5	Sensibilidade 7
550-10	91,4	169	188	50	100
550-20	100	187	190	94	100
1100-10	-	191	189	100	100
1100-20	100	499	185	100	100
Reboco	-	156	194	0	0
Gesso	-	146	192	0	28
550-10 Câmara	100	845	179	100	100
550-20 Câmara	100	845	177	100	100